

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra robotiky

System automatické výměny čelistí/nástrojů

pro manipulační nástavbu vozidla TAROS

The System of Automatic Exchange of Jaws/Tools

for The Manipulation Superstructure of The Vehicle TAROS

Student:

Bc. Martin Kaszper

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Milan Mihola Ph.D.

Ostrava 2017

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra robotiky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Martin Kaszper**

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor: 2301T013 Robotika

Téma: **Systém automatické výměny čelistí/nástrojů pro manipulační nástavbu vozidla TAROS**
The System of Automatic Exchange of Jaws/Tools for The Manipulation Superstructure of The Vehicle TAROS

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Analyzujte stávající konstrukční řešení efektoru manipulační nástavby vozidla TAROS.
2. Proveďte analýzu současného stavu řešené problematiky.
3. Na základě získaných informací navrhnete varianty konstrukčního řešení systému automatické výměny čelistí/nástrojů na úrovni potřebné k jejich vzájemnému objektivnímu porovnání.
4. Nejvhodnější variantu následně rozpracujte do podoby detailního 3D modelu.
5. K vybraným částem mechanismu proveďte potřebné výpočty. Výkresovou dokumentaci vypracujte dle pokynů vedoucího práce.
6. Práci též doložte v elektronické podobě ve formátu MS WORD a konstrukční řešení v CAD systému (dle pokynů vyučujícího).

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Kárník, L., Knoflíček, R., Marcínčin, J. N. *Mobilní roboty*. Opava: MÁRFY SLEZSKO, 2000. 210 s. ISBN 80-902746-2-5.
2. Talácko, J.-Matička, R. *Konstrukce průmyslových robotů a manipulátorů*. ČVUT, Praha, 1995. 236 s. ISBN 80-01-01291-3.
3. Kárník, L. *Robotizace v nestrojírenských oborech*. VŠB-TUO, Ostrava, 2000, 66 s. ISBN 80-7078-739-2.
4. ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.
5. ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Milan Mihola, Ph.D.**


Datum zadání: 09.12.2016

Datum odevzdání: 15.05.2017



prof. Dr. Ing. Petr Novák
vedoucí katedry





doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě, 15. 5. 2017

.....

Kaszper Martin

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě, 15. 5. 2017

.....

Kaszper Martin

Trvalé bydliště:

Vojkovice 134

739 51

Poděkování

Děkuji vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Milanu Miholovi Ph.D. za cenné rady, připomínky a poskytnuté konzultace v průběhu přípravy diplomové práce. Děkuji také své rodině a všem těm, kteří mne po celou dobu mého studia morálně a finančně podporovali.

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

KASZPER, M. *Systém automatické výměny čelistí/nástrojů pro manipulační nástavbu vozidla TAROS. Diplomová práce.* Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta Strojní, Katedra Robotiky, 2017, 74 s., vedoucí: Ing. Milan Mihola Ph.D.

Diplomová práce se zabývá konstrukčním návrhem systému automatické výměny čelistí/nástrojů pro manipulační nástavbu vozidla TAROS. V úvodní části práce je popsán samotný systém TAROS včetně jeho manipulační nástavby a efektoru. Dále je uvedeno několik podobných existujících systémů. Celkem byly pro efektor robotu navrženy čtyři různé typy nástrojů a dva typy čelistí. Následně byl navržen systém automatické výměny těchto nástrojů a tři konstrukční návrhy automatických zásobníků. Z těchto tří variant zásobníků byla pomocí kritériální analýzy vybrána optimální varianta. Ta byla konstrukčně dopracována do podoby prototypu. Pomocí programu Creo Simulate 3.0 bylo zpracováno několik pevnostních analýz, v nichž bylo simulováno předpokládané provozní zatížení vybraných součástí/celků. Provozní zatížení ostatních součástí je ověřeno ručními výpočty. V příloze je dodána výrobní dokumentace vybraných komponent.

ANNOTATION OF DISSERTATION THESIS

KASZPER, M. *The System of Automatic Exchange of Jaws/Tools for The Manipulation Superstructure of The Vehicle TAROS.* Dissertation thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of robotics, 2017, 74 p., The head of the thesis: Ing. Milan Mihola Ph.D.

The diploma thesis focuses on the constructional design of a system of automatic replacement of jaws/tools for the handling superstructure of the TAROS vehicle. The introductory part of the thesis describes the TAROS system itself, including its handling superstructure and effector; several similar existing systems are also mentioned in this part of the thesis. In total, four different types of tools and two types of jaws have been proposed for robot effector. Subsequently, a system of automatic replacement of these tools was designed, including three constructional designs of automatic feeder. By means of a criterial analysis, an ideal variant out of the three proposed ones was selected. It was engineered into a prototype. Using Creo Simulate 3.0, a few strength analyses were carried out in order to simulate expected operating load of selected components/units. The operating load of other components is verified by manual calculation. The production documentation of selected components is attached in the appendix.

OBSAH

Seznam použitého značení	10
ÚVOD	11
2 Rešerše	12
2.1 Zásahový robot.....	12
2.2 Zástupci.....	13
2.3 Seznámení s robotem TAROS 6x6 V2	16
2.4 Manipulační nástavba robotu Taros	19
2.5 Efektor manipulační nástavby robotu Taros	20
2.6 Aktuální stav řešení výměny čelistí efektoru	22
3 POŽADAVKOVÝ LIST	23
4 Návrh systému uchycení nástrojů/čelistí k pevným efektoru.....	24
4.1 Navržený spojovací člen	24
4.2 Navržený systém výměny nástrojů/čelistí.....	25
4.2.1 Čep s odpruženou kuličkou	26
4.2.2 Vodící čep s drážkou pro kuličku.....	27
4.2.3 Postup zachycení čelisti/nástroje na spojovacím členu efektoru.....	28
4.2.4 Systém navedení a uchycení nástrojů v zásobníku	29
5 Návrh nástrojů a čelistí.....	30
5.1 Nástroje	30
5.1.1 Aku úhlová bruska	30
5.1.2 Aku vrtačka	31
5.1.3 Kleště	32
5.1.4 Hrot pro rozbíjení skla	34
5.2 Čelisti	34
5.2.1 Pro manipulaci s cylindrickými objekty.....	35
5.2.2 Pro manipulaci s prizmatickými objekty.....	36
6 Varianty řešení zásobníku	38
6.1 Varianta A	38
6.2 Varianta B	42
6.3 Varianta C	44
7 Výběr optimální varianty	47
7.1 Kritéria	47
7.2 Ohodnocení jednotlivých kritérií	47
7.3 Popis jednotlivých kritérií a hodnoty variant	48

7.4	Zhodnocení jednotlivých kritérií	51
7.5	Porovnávání párů kritérií.....	52
7.6	Výpočet celkových indexů variant.....	53
7.7	Vyhodnocení hodnotové analýzy	54
7.8	Závěr analýzy	54
8	Konstrukční řešení vybrané varianty.....	55
8.1	Rám zásobníku	55
8.2	Systém uchycení držáků nástrojů v zásobníku.....	55
8.3	Těsnění zásobníku proti vnikání vody a nečistot	56
8.4	Umístění elektroniky	57
8.5	Systém uzamykání víka.....	57
8.6	Systém vyhřívání zásobníku	59
8.7	Systém uložení nástrojů v zásobníku	59
9	Výpočtová část	61
9.1	Kontrola čepu v čelisti	61
9.2	Kontrola čepu aktuátoru.....	62
9.3	Výpočet zatížení otevřeného víka	63
10	Pevnostní analýzy	65
10.1	Pevnostní analýza víka zásobníku.....	65
10.1.1	Vlastnosti materiálu víka.....	65
10.1.2	Vstupní podmínky výpočtu	65
10.1.3	Výsledky analýzy	66
10.2	Pevnostní analýza víka spojovacího členu	67
10.2.1	Vlastnosti materiálu spojovacího členu a čelisti	67
10.2.2	Vstupní podmínky výpočtu	67
10.2.3	Výsledky analýzy	68
11	Parametry zásobníku	69
12	Cenová kalkulace	70
13	ZÁVĚR	71
14	Seznam použité literatury a elektronických podkladů	72
15	Seznam příloh	74

Seznam použitého značení

Značka	Význam	Jednotky
a	Zrychlení	$[m.s^{-2}]$
a, b	Rozměry ploch	$[mm]$
c_0	Součinitel odporu vzduchu	-
d	Průměr	$[mm]$
f	Součinitel smykového tření	-
F	Maximální síla aktuátoru	$[N]$
F_a	Síla vyvolaná zrychlením	$[N]$
F_g	Gravitační síla	$[N]$
F_N	Normálová síla	$[N]$
F_{OZ}	Síla odporu vzduchu	$[N]$
F_T	Třecí síla	$[N]$
F_V	Výsledná zatěžující síla	$[N]$
g	Gravitační zrychlení	$[m.s^{-2}]$
IED	improvizované nástražné zařízení	-
Interface	Připojovací příruba	-
K_{Sp}	Koeficient bezpečnosti	-
m	Hmotnost	$[kg]$
M_o	Ohybový moment	$[N.m]$
OM	Objekt manipulace	-
S	Průřez	$[mm^2]$
S_p	Plocha	$[mm^2]$
v_∞	Náporová rychlost	$[m.s^{-1}]$
v	Rychlost	$[m.s^{-1}]$
W_o	Modul pružnosti v ohybu	$[mm^3]$
ρ	Hustota	$[kg.m^3]$
τ_s	Smykové napětí	$[MPa]$
σ_o	Ohybové napětí	$[MPa]$
π	Matematická konstanta	-

ÚVOD

Problematika bojových a podpůrných armádních robotů je fenoménem posledních let. Je za tím hlavně snaha chránit životy a zdraví příslušníků bezpečnostních a ozbrojených sil při nebezpečných misích v neznámém prostředí. To vede vyspělé státy k vývoji dálkově řízených, bezposádkových systémů. Jejich využití se však neomezuje pouze na vojenské prostředí, ale lze je snadno aplikovat do civilního sektoru. K tak výraznému rozvoji těchto systémů přispívá miniaturizace elektronických součástek a pohonných jednotek při stejném nebo vyšším výkonu, jejich větší dostupnost na trhu a klesající cena, také lehčí a pevnější kompozitní materiály, technologie 3D tisku, dokonalejší softwary, nové programovací jazyky a „know-how“ výrobců.

Roboti jsou schopni pohybovat se po schodišti a v neznámých prostorech bez nutnosti dohledu operátora, otevírat si dveře, transportovat zraněného vojáka do bezpečí, či sami vyhledávat a ničit vojenské cíle. Tito armádní roboti bývají nasazeni v různých klimatických podmínkách, od pouštních oblastí s vysokými teplotami a všude přítomným prachem, přes vlhké prostředí džunglí, až po oblasti s teplotami pod bodem mrazu.

Cílem této práce je návrh automatického zásobníku nástrojů pro efektor manipulační nástavby robotu TAROS. Navýšením počtu nástrojů, mnohonásobně zvýšíme potenciál celého vozidla, který byl doposud omezován jedním typem čelistí. Základní podmínkou při návrhu je samostatnost a spolehlivost systému, tedy schopnost měnit nástroje bez jakéhokoli zásahu obsluhy.

Po zhodnocení a výběru vhodných nástrojů pro zásahového robota, bude následovat návrh jejich uchycení k efektoru a návrh systému pro jejich automatickou výměnu. Dalším krokem bude návrh tří variant zásobníku pro vybrané nástroje. Na základě kritériální analýzy bude vybrána optimální varianta.

Konstrukční celky vybrané varianty budou dále rozpracovány do podoby prototypu automatického zásobníku, ovšem bez návrhu elektrické a řídicí části. Pomocí programu Creo Simulate 3.0 bude vytvořeno několik pevnostních analýz, v nichž bude simulováno předpokládané provozní zatížení vybraných součástí/celků. Provozní zatížení ostatních součástí bude ověřeno ručními výpočty.

V závěru práce bude zpracována cenová kalkulace odhadovaných výrobních nákladů zásobníku a vytvořena výrobní dokumentace vybraných součástí a sestav.

2 Rešerše

Následující kapitola popisuje základní rozdělení, současný stav a využití autonomních vojenských platforem k podpoře činnosti vojenských jednotek.

2.1 Zásahový robot

Dělí se do čtyř základních skupin dle prostředí, ve kterém se pohybují. První skupinou jsou tzv. **UAV** – Unmanned Aerial Vehicle. Jedná se o prostředky pohybující se ve vzduchu. Další jsou **USV** – Unmanned Surface Vehicle, čili prostředky pohybující se po vodní hladině. Třetí skupinou jsou **UUV** – Unmanned Underwater Vehicle. Ty se pohybují pod vodní hladinou. Poslední skupinou jsou tzv. **UGV** – Unmanned Ground Vehicle pohybující se po zemském povrchu. Na ty je všeobecně soustředěna největší pozornost a zabývá se jimi i tato práce.

Všechny UGV prostředky se vyznačují výbornou průchodností terénem, vysokou užitečnou zátěží a různou mírou autonomního chování. Bývají vybaveni velkým množstvím senzorů, díky kterým se mohou samostatně pohybovat v prostoru a být s ním v různém stupni interakce. Většina těchto systémů je schopna samostatné navigace na zadanou pozici bez zásahu obsluhy. Rozlišujeme čtyři základní typy navigace.

Prvním je typ „Come to Me“ (Přijed' ke mně) robot se pohybuje k pozici operátora, ten může svou pozici neustále měnit. Druhý typ má název „Follow Me“ (Následuj mě), je obdobou předchozího typu s rozdílem následování operátora s odstupem, velikost odstavu určuje operátor. Třetí typ s označením „Follow Waypoints“ (Sleduj dané body) robot postupně projíždí operátorem stanovené body určené souřadnicemi. Posledním typem je „Retro-Traversal“ (Návrat stejnou trasou). Robot se po dosažení určeného místa vrací stejnou cestou, po které na místo dojel.

Mezi hlavní úkoly těchto robotů patří převoz nejrůznějšího materiálu, ostražba objektů, manipulace s nebezpečným odpadem, manipulace s výbušninami a podezřelými objekty, destrukce IED (improvised explosive device), odminovací práce a ženijní činnost, přeprava osob např. zraněných vojáků, sbírání a analýza vzorků. Nesmí se, ale zapomenout na možnost vybavit roboty zbraňovými systémy, jako jsou automatické zbraně různých ráží, protiletadlové a protitankové střely, různé pozorovací systémy denního a nočního vidění, dálkový odposlech, rušení signálů a další.

Největší koncentrace nasazených robotů byla zatím zdokumentována při americké vojenské operaci v Afganistánu, kdy teroristické skupiny začaly používat k napadání přesunů vojenského materiálu, techniky a vojáků tzv. IED přeloženo jako improvizované výbušné zařízení. Tyto zařízení jsou velkou hrozbou, protože se dají dobře zamaskovat a aktivovat i na dálku, což prakticky znemožňuje jejich vyhledání a likvidaci.

Roboti se stali odpovědí na otázku jak tyto zařízení vyhledávat a ničit bez rizika ohrožení životů vojáků. Ve většině případů se při nálezů takto nastraženého systému vyšle robot, který ve svém efektoru nese předem připravenou nálož. Jakmile ji robot umístí k předpokládanému místu IED vrátí se zpět ke svému operátorovi a z bezpečné vzdálenosti je připravená nálož odpálena. I proto dnes mnoho zásahových robotů disponuje pouze efektozem s čelistmi pro manipulaci bez dalších nástrojů, což jejich možnosti nasazení výrazně snižuje.

2.2 Zástupci

Zástupců této skupiny robotů již dnes existují stovky, níže je uvedeno několik z nich. Uvedené informace o operační výdrži robotu je vždy pouze orientační. Většina výrobců používá uvedené základní konstrukce robotů k různým modifikacím, nebo se jedná o prvotní vývojové stupně.

SMS System

Pod touto zkratkou se skrývá název The Squad Mission Support System. Tento systém vyvíjí americká firma Lockheed Martin, a pokud uspěje při testování, měl by se zařadit do služeb Americké armády. Tento robot je na první pohled hodně podobný robotu TAROS, ale konstrukčně se zásadně liší. [12]



Hmotnost:	900 kg
Nosnost:	450 kg
Dojezd:	100 km
Počet kol:	6x6
Řízení směru:	diferenčně
Cena:	\$ 500 000
Max. rychlost:	36 km/h

Obrázek 1 – Náhled na robot SMS Systém [12]

The Crusher

Robot byl vytvořen na Carnegie-Mellonově univerzitě v rámci projektu UPI. Hlavní myšlenou tohoto projektu je vozidlo pro velkoobjemové a bezpilotní dopravy materiálu v extrémním terénu. [13]



Hmotnost:	6 000 kg
Nosnost:	3 600 kg
Počet kol:	6x6
Řízení směru:	synchronní
Rozměr (DxŠxV):	5,1 x 2,6 x 1,5 m
Max. rychlost:	41 km/h
Výkon motoru:	210 kW

Obrázek 2 – Náhled na robot Crusher [13]

Probot

Je izraelský zástupce této skupiny robotů. Pro posílení mobility robotu se mohou na kola namontovat pásy. Za zmínku stojí jeho testování v extrémních podmínkách a zkoušky s převozem osob. [14]



Hmotnost:	230 kg
Nosnost:	750 kg
Počet kol:	4x4
Řízení směru:	diferenčně
Rozměr (DxŠxV):	2 x 1,2 x 1,05 m
Max. rychlost:	10,5 km/h
Operační výdrž:	8 – 10 h

Obrázek 3 – Náhled na robot Probot [14]

Následují roboti, kteří jsou primárně zkonstruováni jako platforma pro manipulační nástavbu s různými výměnnými nástroji.

Cutlass

Výrobce je britská firma Norhtrop Grumman. Úkolem toho robotu je zásah při nálezu nebezpečných předmětů. Pohybuje se hlavně v městském prostředí. [15]

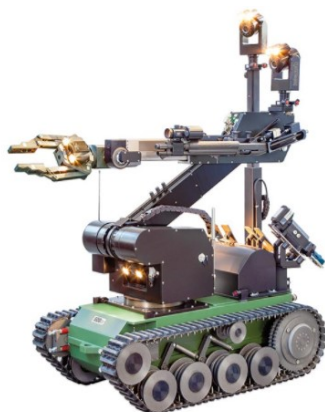


Hmotnost:	420 kg
Nosnost nástavby:	25 kg
Počet SV nástavby:	9 s efektozem
Dosah nástavby:	3,66 m
Počet nástrojů:	4
Operační výdrž:	3 h
Rozměr (DxŠxV):	1,3 x 0,7 x 1,2 m
Max. rychlost:	11 km/h

Obrázek 4 – Náhled na robot Cutlass [15]

tEODor

Jedná se o typ čistě pyrotechnického robotu. Jedním tímto robotem disponuje i policejní pyrotechnická jednotka ČR [16]. Výrobce je německá firma Telerob. Robot už byl vyvezen do 45 zemí světa v počtu 500 kusů. Na robot může být namontováno až 40 kusů různého příslušenství. Některé z nich lze vidět na obrázku 6. [17]



Hmotnost:	375 kg
Nosnost nástavby:	100 kg
Počet SV nástavby:	6 s efektozem
Dosah nástavby:	2,86 m
Počet nástrojů:	4
Operační výdrž:	3 – 4 h
Rozměr (DxŠxV):	1,3 x 0,685 x 1,24 m
Max. rychlost:	3 km/h

Obrázek 5 – Náhled na robot tEODor [17]



Obrázek 6 – Příklady příslušenství pro robot tEODor

TALON

Tento robot patří mezi nejmasověji vyráběný model na světě. Bylo vyrobeno už více než 3 000 kusů těchto robotů. Řadí se rovněž mezi roboty s nejmasovějším nasazením v ozbrojeném konfliktu. Existují dva další vývojové stupně tohoto robotu. Představená verze je verze Standard. [18]



Hmotnost:	52 kg
Nosnost nástavby:	9 kg
Počet SV nástavby:	3 (s efektozem)
Dosah nástavby:	1,3 m
Operační výdrž:	3 – 4,5 h
Rozměr (DxŠxV):	86,4 x 57,2 x 42,7 cm
Max. rychlost:	8,4 km/h

Obrázek 7 – Náhled na robot TALON [18]

2.3 Seznámení s robotem TAROS 6x6 V2



Obrázek 8 – Náhled na robot Taros 6x6 V2 [1]

Zkratkové označení robotu TAROS znamená Taktický robotický systém a jedná se o robotickou platformu pro specializované nástavby od manipulačních po bojové. Je určen pro logistickou a bojovou podporu mechanizovaných, průzkumných a speciálních jednotek. Tento robot byl vyvinut společností VOP CZ, s. p. se sídlem v Šenově u Nového Jičína ve spolupráci s centrem CAFR (Center for Advanced Field Robotics), na jehož založení se sama podílela. Toto centrum sdružuje organizace, které se zabývají výzkumem a vývojem v oblastech vyspělé robotiky a autonomních systémů v civilním, průmyslovém i vojenském

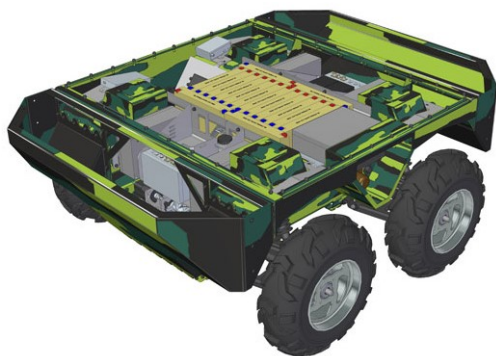
odvětví. Působí v něm i několik univerzit: VŠB – TU Ostrava, VUT Brno, ČVUT Praha a Univerzita obrany v Brně. [2]

Tento robot je přímým následovníkem dvou technologických demonstrátorů. První je UGV TCX-G1 a druhým TAROS 6x6 FURBO [19]. Oba systémy sloužily k testování technologií a získání potřebného „know-how“. Naopak TAROS 6x6 V2 je prototypem, na jehož základě lze postavit sériově vyráběnou verzi.



Obrázek 9 – Robot TAROS 6x6 FURBO vlevo a UGV TCX-G1 vpravo [20]

Základní myšlenkou při návrhu jeho konstrukce byla modularita a to z důvodu snadné opravy při poškození. V polních podmínkách s běžným montážním vybavením jsou mechanici schopni vyměnit poškozený blok za druhý a robot je opět funkční.



Obrázek 1 – Modul 4x4 [1]

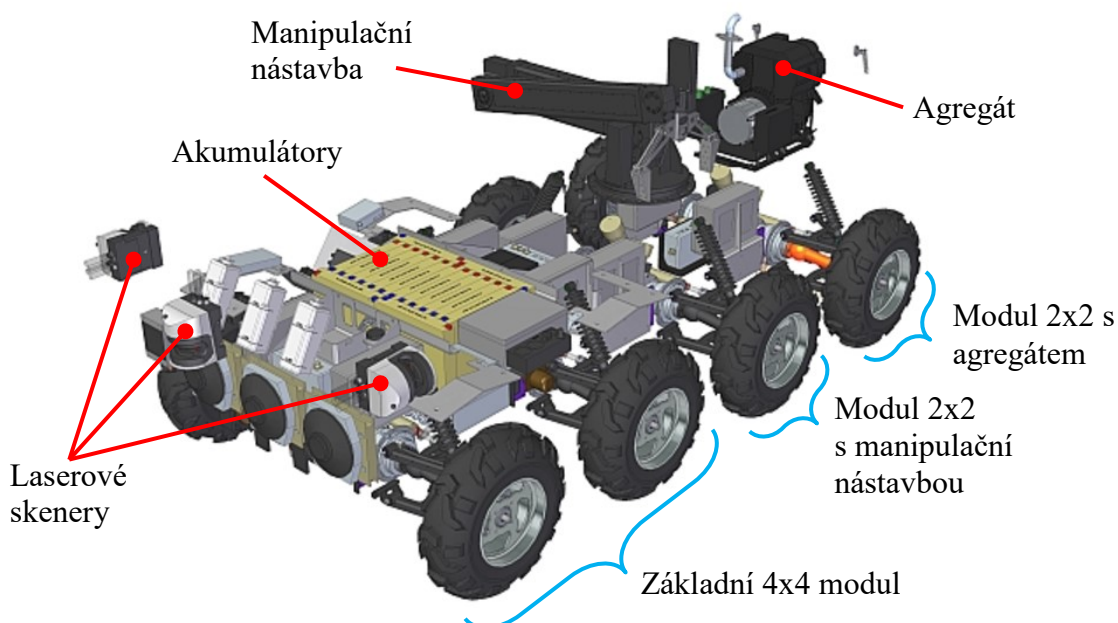


Obrázek 2 – Pohonná jednotka [1]

Srdce a mozek robotu tvoří samostatný modul 4x4 s lithium–fosfátovými akumulátory (na obrázku 10 světle béžové). Modul disponuje veškerou řídicí a komunikační elektronikou robotu a rovněž senzorickou nástavbou. Tento modul je po úpravě schopen pracovat zcela samostatně.

Nápravu tvoří dva samostatné moduly. Všechny kola jsou poháněna a řiditelná, díky tomu má robot velice dobrou manévrovatelnost a průchodnost terénem. Je schopen otočit se na místě a zvládá tzv. krabí pohyb. Každé kolo tvoří samostatný závěsný systém (černá barva), výkonný elektromotor a převodovka (šedá barva), aktuátor pro natáčení kol (béžový).

Kromě základního modulu 4x4 bylo vytvořeno také několik dalších. Prvním je modul 2x2, na kterém je umístěna manipulační nástavba. Další je modul 2x2 s dobíjecím agregátem. Byl také vytvořen spojovací modul, který zvětšuje ložnou plochu robotu pro převoz většího množství materiálu. Tyto moduly se mohou za určitých podmínek libovolně kombinovat. Tím vzniká možnost vytvořit verze 6x6, 8x8 nebo i 10x10, případně využít pouze základní modul 4x4. Základní technické parametry jsou uvedeny v tabulce 1.



Obrázek 12 – 3D model robotu ve verzi 8x8 [1]

Robot lze vybavit velkým počtem nejrůznějších senzorů, případně může převážet další parazitní roboty a působit jako mobilní základna pro tyto především pozorovací systémy. Ovládací stanice operátora je zobrazena na obrázku 13. Existuje i značně zmenšená verze řídicího panelu pro nošení na taktické vestě pro případ pěšího přesunu operátora s robotem. Na obrázku 13 je také experimentální bezdrátově řízená miniaturní lafeta osobních zbraní vyvíjená pro vozidla UGV. Konkrétně je zde lafetována útočná puška CZ 805 BREN. [3] [20]



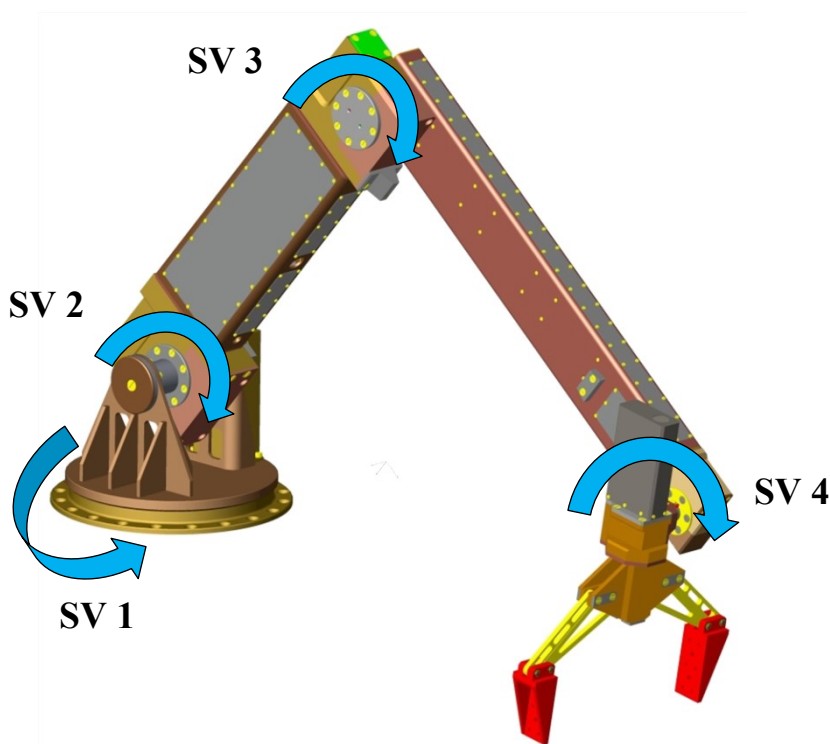
Obrázek 13 – Ovládací stanice robotu vlevo a lafeta osobních zbraní vpravo [1] [20]

Tabulka 1 – Základní technické parametry robotu Taros [1]

Parametr	Hodnota	Jednotky
Délka	2 740	mm
Šířka	1 770	mm
Výška	1 410	mm
Hmotnost	1 450	Kg
Rozvor náprav	800	mm
Maximální rychlost	29	km/h
Pohon	Každé kolo má vlastní pohonnou jednotku	
Zdroje	Akumulátory, dobíjecí agregát	

2.4 Manipulační nástavba robotu Taros

Manipulační nástavba robotu Taros byla zkonstruována na katedře Robotiky VŠB – TUO. Jak lze vidět na obrázku 8 je nástavba na robotu situována v jeho zadní části. To umožňuje maximalizovat ložnou plochu robotu a zajistit, aby nástavba mohla manipulovat s objekty, které se nacházejí těsně nad zemí. Nástavba má 4 stupně volnosti bez efektoru (dále už jen „SV“). Natočení každého SV je uvedeno v tabulce 2 spolu s dalšími parametry manipulační nástavby.



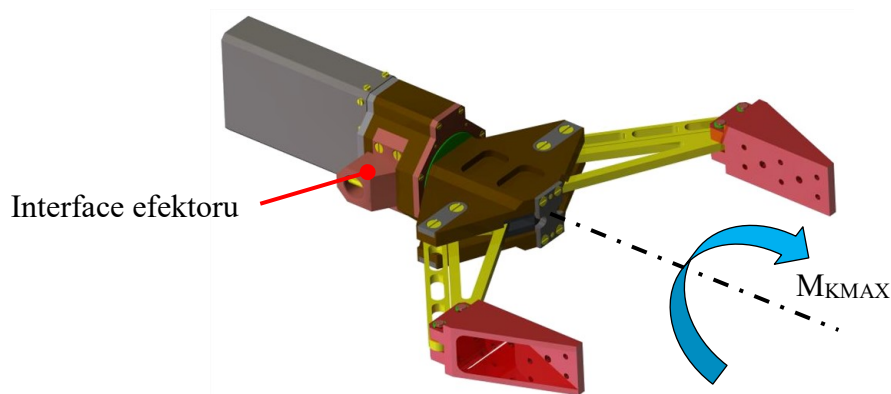
Obrázek 14 – Manipulační nástavba robotu Taros

Tabulka 2 – Technické parametry nástavby

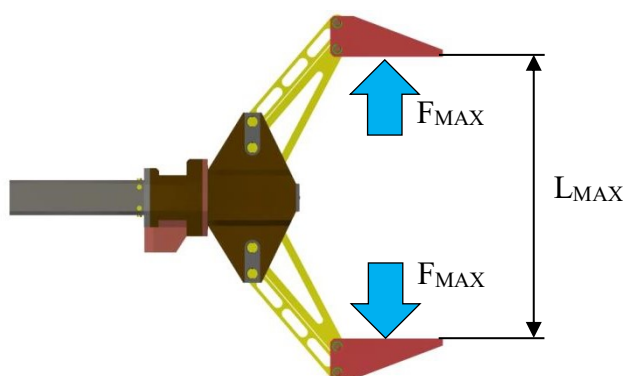
Parametr	Hodnota	Jednotky
Nosnost	35	Kg
Maximální dosah ramene	2 100	mm
SV 1	± 180	°
SV 2	+ 9 až – 213	°
SV 3	± 170	°
SV 4	± 100	°

2.5 Efektor manipulační nástavby robotu Taros

Efektor pro manipulační nástavbu byl navržen rovněž na katedře Robotiky. Jedním ze základních požadavků na tento efektor byla možnost kontinuálního otáčení bez omezení s manipulovaným objektem v obou směrech, jak je naznačeno na obrázku 15. Každé rameno efektoru je dimenzováno na zatížení 600 N ve směru zaznačeném na obrázku 16. Další parametry efektoru jsou vypsány v tabulce 3. Manipulační nástavba i efektor jsou rovněž dimenzovány na možnost odtahnutí raněného vojáka z pole. Podmínkou však je, že nástavba i efektor musí být v rovině.

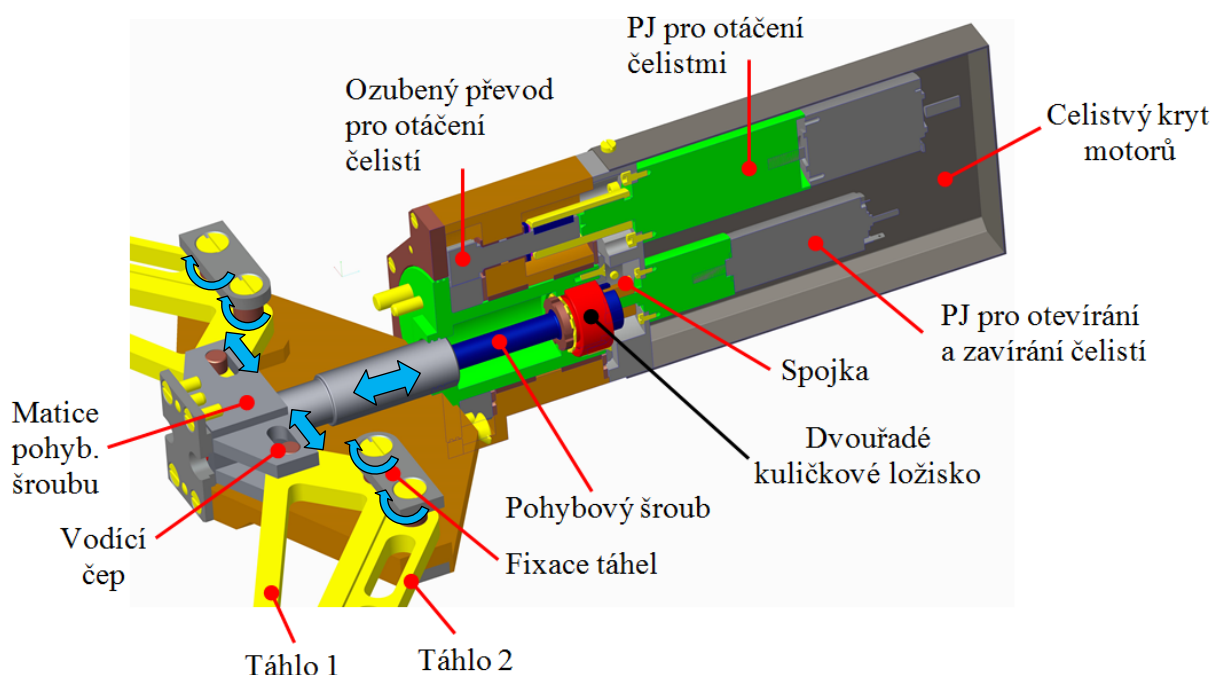


Obrázek 15 – Náhled na efektor



Obrázek 16 – Směr maximální zatěžující síly

Na obrázku 17 je zobrazen částečný řez efektoru s popisem jednotlivých komponent. Efektor je přichycen k manipulační nástavbě přes interface. Ten je vidět na obrázku 15. Otevírání a zavírání čelistí efektoru je realizováno pomocí paralelogramu. Ten pohání motor s převodovkou a enkodérem (dále jen PJ), který je situovaný v zadní části efektoru. Rotační pohyb je přes pohybový šroub a matici transformován na translační pohyb matice pohybového šroubu. Matice při pohybu s sebou „tahá“ vodící čepy táhel. Táhla jsou fixovány v rámu efektoru. Tak je převeden translační pohyb matice na pohyb táhel efektoru. Rotace čelistí je zprostředkována přes ozubené soukolí poháněné motorem s enkodérem a převodovkou. Technické parametry efektorů jsou uvedeny v tabulce 3.



Obrázek 17 – Částečný řez efektoru doplněný o popis základních komponent

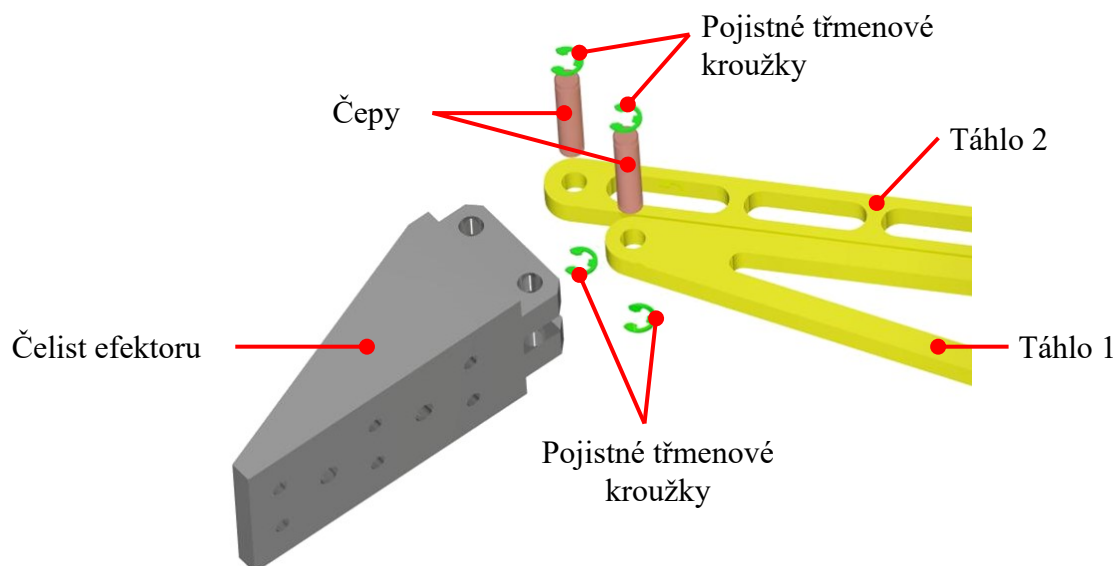
Tabulka 3 – Technické parametry efektoru robotu Taros

Parametr	Hodnota	Jednotky
Nosnost	20	Kg
Max. rozevření čelistí L_{MAX}	400	mm
Hmotnost	11,2	Kg
Natočení čelistí	neomezeno	-
Max. zatížení F_{MAX}	600	N
Max. krouticí moment M_{KMAX}	80	N.m

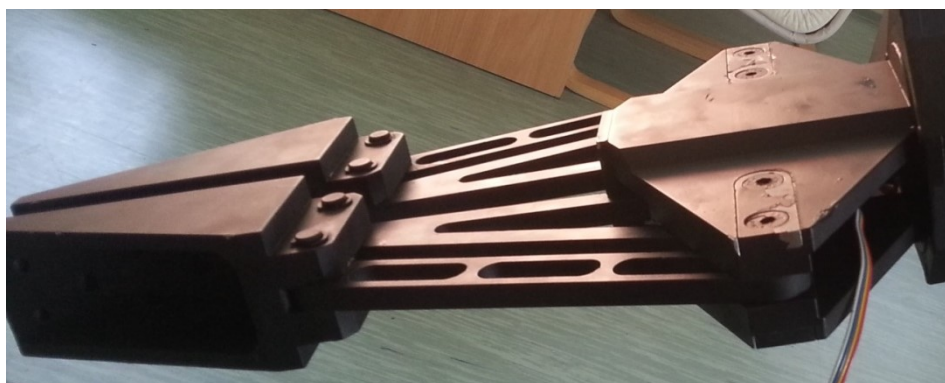
2.6 Aktuální stav řešení výměny čelistí efektoru

Současný systém uchycení čelistí na efektoru neumožňuje automatickou výměnu čelistí. Čelisti jsou drženy na ramenech efektoru pomocí čepů, vždy jeden čep na jedno rameno. Každý čep je zajištěn dvojicí pojistných třmenových kroužků. V případě potřeby výměny čelistí je nutný kontakt operátora přímo s robotem to vylučuje možnost výměny čelisti v případě, že robot operuje samostatně.

Obsluha musí dostat manipulační nástavbu s efektozem do příhodné pozice pro pohodlný dosah na čelisti. Nejprve demontovat pojistné třmenové kroužky z čepů, vytáhnout čepy, následně odebrat čelist a na její místo vložit požadovaný typ čelisti. Pak opět vloží do čelisti oba čepy a zajistí je pojistnými třmenovými kroužky.



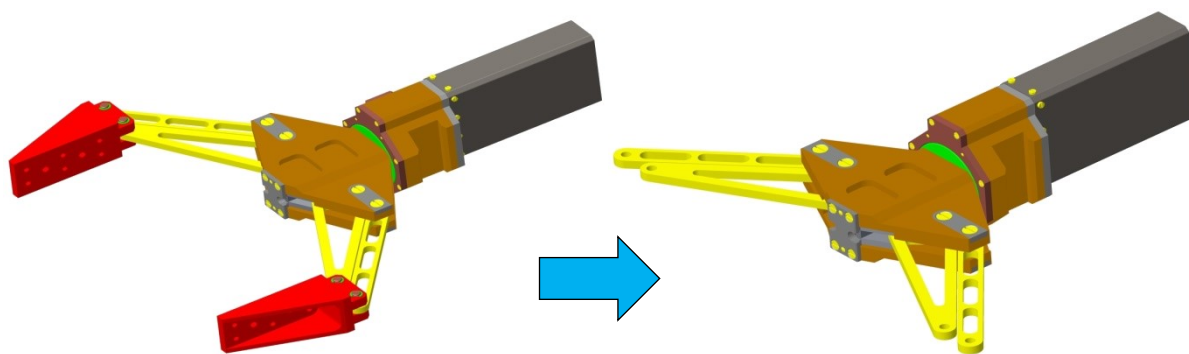
Obrázek 18 – Systém uchycení čelisti na efektoru



Obrázek 19 – Detail skutečných čelistí efektoru

3 POŽADAVKOVÝ LIST

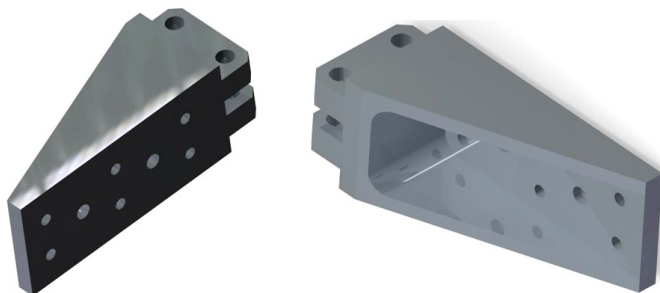
Režim výměny nástrojů/čelistí:	plně automatický
Počet nástrojů:	6
Typy nástrojů:	aku úhlová bruska, aku vrtačka, nůžky pro stříhání drátů, trn na rozbíjení skla
Typy čelistí:	čelisti pro manipulaci s prizmatickými a cylindrickými objekty
Teplota média a okolí:	- 20°C až + 50°C
Stupeň ochrany zásobníku:	IP 55
Efektor:	nosnost 20 kg maximální krouticí moment 80 N.m hmotnost efektoru 3,5 kg kontinuální otáčení čelistí
Prostředí:	bojové podmínky (prach, voda, otřesy, špína, teplota)
Cena:	při návrhu zohlednit cenu nakupovaných komponent
Energie:	elektrická k dispozici z akumulátorů robotu, moduly s vlastními akumulátory (bruska, vrtačka)
Připojovací člen efektoru:	Nutno zachovat ramena efektoru
Současný stav:	ruční výměna nástrojů (čepy zajištěny pojistnými třmenovými kroužky)



Obrázek 20 – Zachovaný člen efektoru

4 Návrh systému uchycení nástrojů/čelistí k efektoru

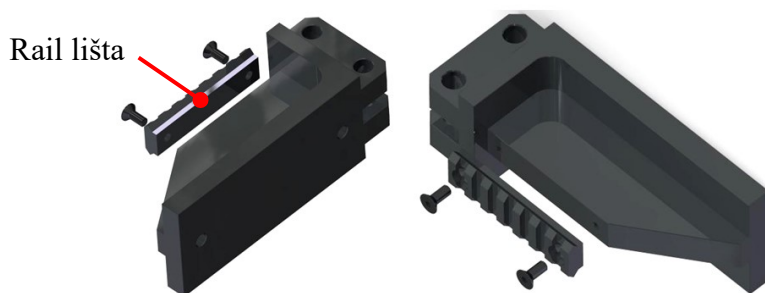
Aktuální systém uchycení čelistí byl popsán v bodě 2.6 na straně 22. Ten bohužel neumožňoval automatickou výměnu čelistí. Proto byl navržen nový systém schopný automatické výměny mezi různými nástroji a čelistmi.



Obrázek 21 – Detail stávajících čelistí efektoru

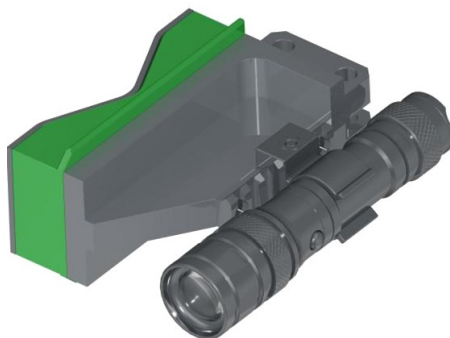
4.1 Navržený spojovací člen

V požadavkovém listu je vyspecifikováno připojovací místo, pokud je nutné zachovat původní podobu efektoru, viz obrázek 20. Proto bylo základním předpokladem pro uskutečnění automatické výměny nástrojů vytvoření spojovacího členu mezi efektem a nástroji/čelistmi. Ten bude pevně fixován na táhlech efektoru. Člen musí být schopný pevně fixovat všechny nástroje bez změny své geometrie. Spojení musí být spolehlivé, bezpečné a dostatečně tuhé.



Obrázek 22 – Detail nového spojovacího členu z obou stran

Po bocích je každý spojovací člen opatřen originální rail lištou picatinny s osmi sloty [8]. Díky ní bude možné na efektor uchytit další příslušenství jako například taktickou svítilnu, laserový značkovač cílů, dálkoměr a další. V tomto případě, by však bylo potřeba upravit rozměry zásobníku tak, aby se při výměně čelisti/nástroje vešel efektor i s namontovaným příslušenstvím mezi nástroje/čelisti a vyřešit dálkové ovládání tohoto příslušenství.

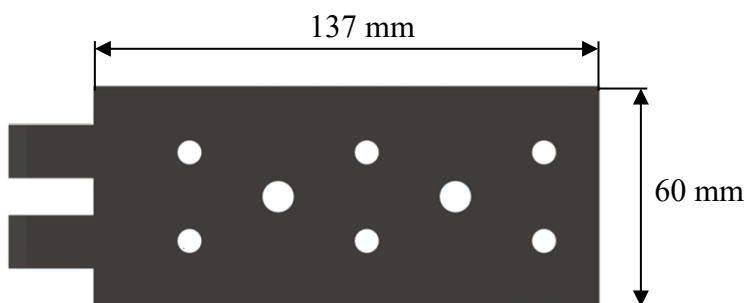


Obrázek 23 – Náhled na čelist s namontovanou taktickou svítilnou

Tabulka 4 – Technické parametry lišty picatinny [8]

Typ UTG PRO – M-lok-8		
Parametr	Hodnota	Jednotky
Počet slotů	8	ks
Materiál	Letecký hliník 6061-T6	-
Rozměry (DxŠxV)	80 x 21 x 9,4	mm
Hmotnost	33	g
Cena	1 020	Kč

Nově navržený spojovací člen si ponechává původní připojovací rozměry čelistí efektoru i původní rozměr pracovní plochy.



Obrázek 24 – Rozměry původní čelisti

4.2 Navržený systém výměny nástrojů/čelistí

Uchycení čelistí/nástroje na efektoru musí být spolehlivé, jednoduché, bezpečné a dostatečně tuhé. Navržené spojení vychází ze dvou podmínek. Zaprvé není potřeba čelist/nástroj energeticky propojovat s efektozem. Bruska i vrtačka jsou opatřeny vlastními zdroji energie. Zadruhé čelist/nástroj nebude při svém pracovním cyklu tažena ve směru kolmo od spojovacího členu. Navíc jsou čepy s kuličkou schopny vyvinout proti tomuto pohybu odpor, který vyvine pružina tlačící na kuličku. Tyto a další důvody vyřadili možnost použití standartních průmyslových řešení.

Celý mechanismu se tedy skládá ze dvou členů. Prvním je čep s odpruženou kuličkou a druhým je vodící čep s drážkou pro tuto kuličku. Nyní budou oba ve zkratce představeny. Detailní postup zachycení čelisti na efektoru je pak rozkreslen na obrázku 27/str. 28.

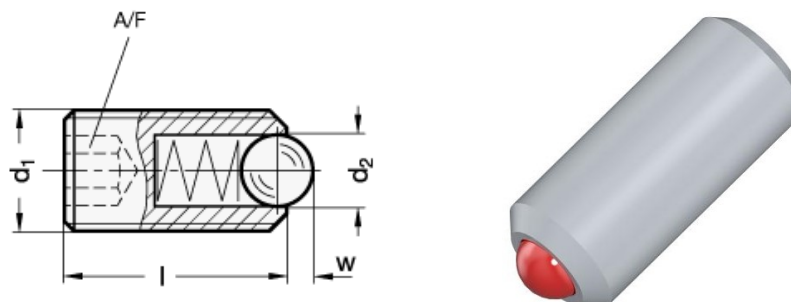
4.2.1 Čep s odpruženou kuličkou

Tento čep je sériově vyráběná součást dodávaná firmou ELESA+GANTER CZ s.r.o. Vybraný typ čepu s kuličkou: *GN 615.3 – NI – M8 KN – PFB*. [7]

Jedná se o nerezové provedení těla čepu s kalenou kuličkou, standartní tuhostí pružiny. Čep je opatřen závitem o velikosti M8, pojištěný metodou PFB, neboli povlakem na bázi polyamidu aplikovaným na závit čepu. Nejde o tekuté lepidlo, což usnadňuje montáž. Další výhodou je možnost opakovaného použití. Výrobce garantuje, že při pátém utahení čepu má zajištění účinek 50 % původní pevnosti. Každý nástroj/čelist má dva tyto čepy. Potřebná síla pro odtržení ze spojovacího členu se tedy zdvojnásobí. Zašroubovaný čep bude seshora zakrytován zaslepovacím čepem rovněž se závitem M8. To zamezí v pronikání kapalin a nečistot do prostoru čepu.

Tabulka 5 – Technické parametry čepu s kuličkou [7]

Parametr	Hodnota	Jednotky
Průměr d_1	M8	mm
Průměr d_2	4,5	mm
Délka $l \pm 0,1$	18	mm
Max. výstup kuličky z čepu w	1,5	mm
Hmotnost	4	g
Počáteční tlak pružiny	18	N
Koncový tlak pružiny	31	N
Utahovací moment	4	N.m
Rozsah pracovních teplot	- 50 až + 90	°C



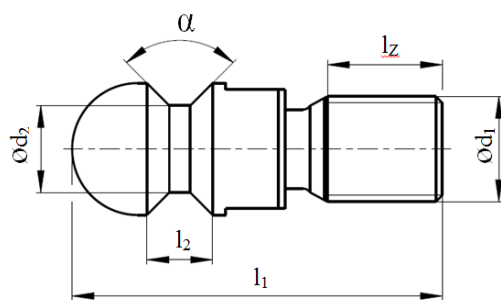
Obrázek 25 – Okótovaný řez čepu s kuličkou a vytvořený 3D model

4.2.2 Vodící čep s drážkou pro kuličku

Druhý čep slouží jako naváděcí a zároveň jako vodící. Pro správné najetí spojovacího členu do čelisti je konec čepu zaoblen. Po navedení se spojovací člen pohybuje po obvodu tohoto čepu až po místo, kde je vyrobena drážka, do které zapadne kulička tlačaná pružinou. Čep je vyroben na zakázku. Po obrobení bude zakalen pro zvýšení jeho tvrdosti a následně popuštěn pro snížení vnitřního pnutí v materiálu. V každém spojovacím členu bude dvojice těchto čepů. Na několik závitů čepu se nanese tenká vrstva zajišťovacího lepidla na šrouby Loctite 243. Následně se zašroubuje do spojovacího členu a dotáhne. Pro montáž je čep opatřen dvojicí sražených hran. Čep lze vidět na obrázku 26.

Tabulka 6 – Technické parametry vodícího čepu s drážkou

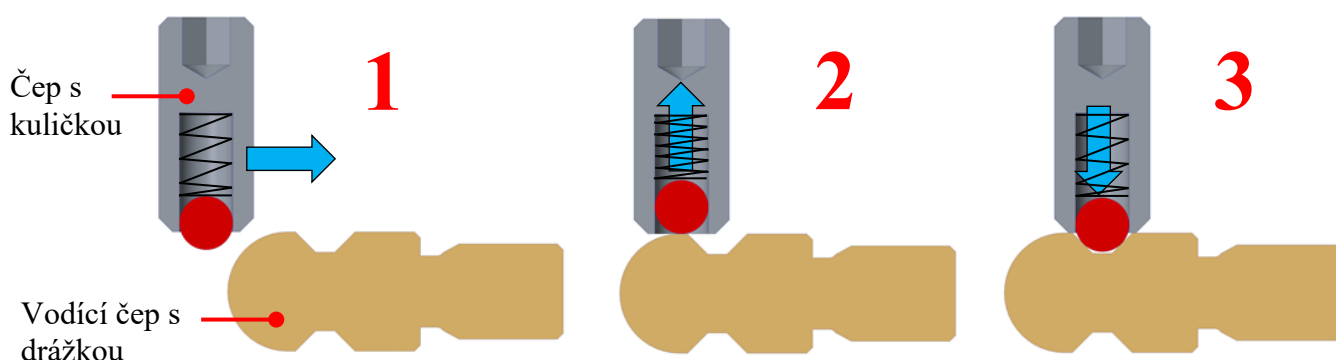
Parametr	Hodnota	Jednotky
Průměr d_1	M8	mm
Průměr d_2	6,6	mm
Délka l_z	9	mm
Délka l_1	28	mm
Délka l_2	5	mm
α	90	°
Hmotnost	1,1	g



Obrázek 26 – Okótovaný vodící čep s drážkou pro kuličku a vytvořený 3D model

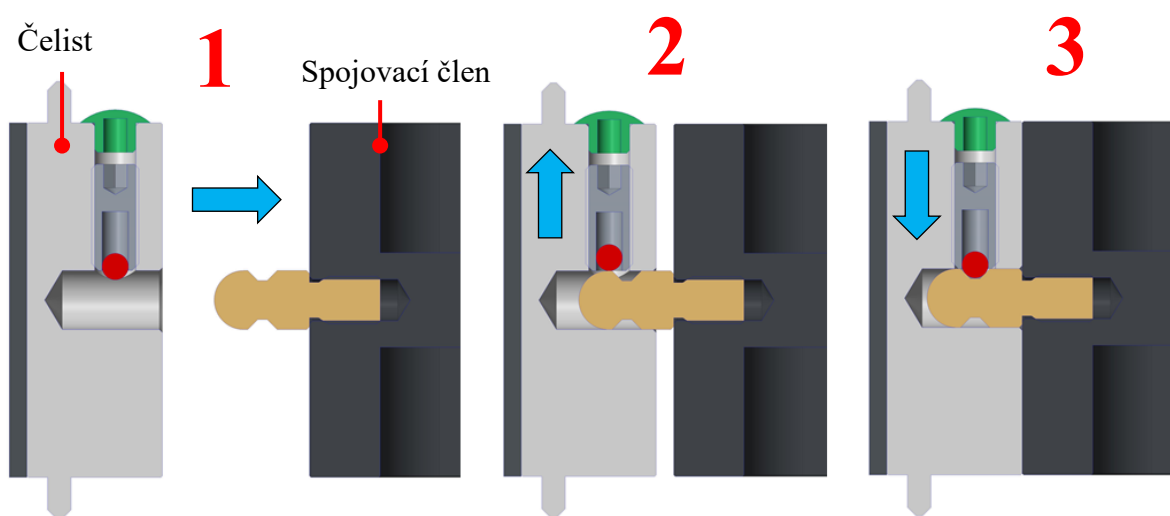
4.2.3 Postup zachycení čelisti/nástroje na spojovacím členu efektoru

Postup uchycení čelisti na spojovacím členu potažmo efektoru bude následující. Nejprve se efektor přiblíží s připojovacím členem do pozice před čep s drážkou (obrázek 27, pozice 1). Následně se efektor začne zavírat a dojde k vystředění čelisti na zaoblené hlavě čepu s drážkou. Jakmile se potká odpružená kulička s povrchem čepu s drážkou, začne přetlačovat pružinu a „schovávat“ se do čepu (obrázek 27, pozice 2). Kulička se pohybuje po ploše vodícího čepu až do drážky. Pružina svou silou zatlačí kuličku do této drážky a dojde k zachycení čelisti/nástroje ve spojovacím členu (obrázek 27, pozice 3). Tento systém výměny využívají všechny ostatní nástroje/čelisti.



Obrázek 27 – Detailní rozkreslení postupu uchycení čelisti na efektoru

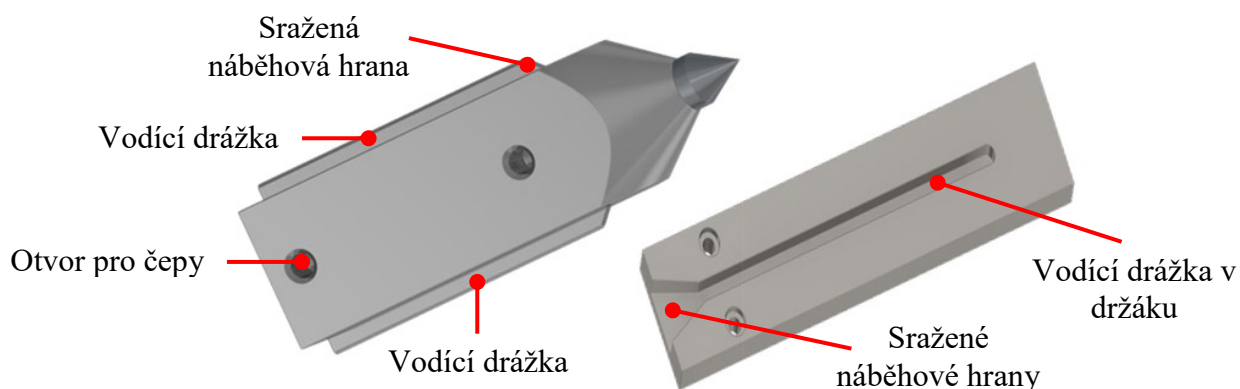
Na obrázku 28 lze vidět tentýž rozfázovaný postup, ale ve skutečné čelisti bez detailu. Černý díl představuje spojovací člen a šedý prizmatickou čelist. Zeleně je zobrazena záslepka čepu s kuličkou. Čep s kuličkou je tmavě šedý a kulička má barvu červenou.



Obrázek 28 – Rozfázovaný postup uchycení čelisti na efektoru

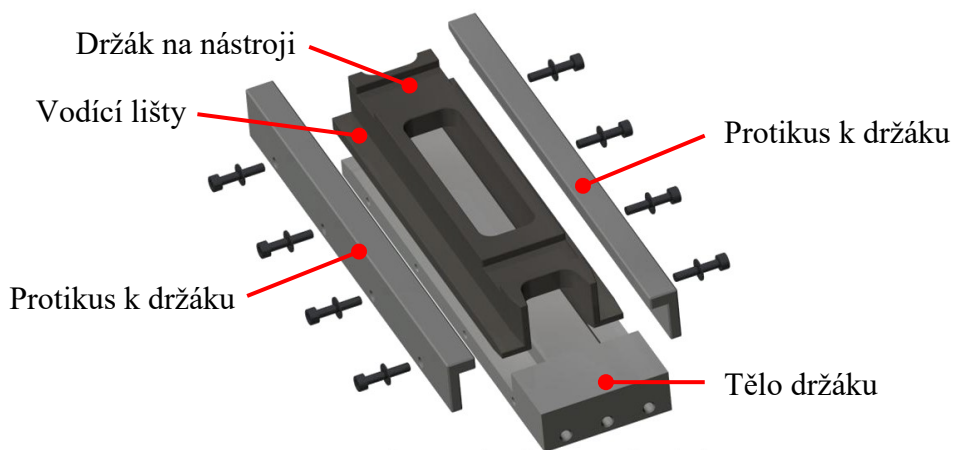
4.2.4 Systém navedení a uchycení nástrojů v zásobníku

Každá čelist/nástroj, je opatřena dvojicí vodících drážek, které jsou umístěny proti sobě. Vodící drážka na nástroji/čelisti bude zájždět do vybrané drážky (protikusu) v držáku každého nástroje/čelisti. Mezi drážkami bude vždy vůle umožňující hladký chod i při obalení vidících drážek nečistotami. Náběhové hrany drážek jsou v držáku i nástroji vždy sraženy pro ulehčení navádění nástroje/čelisti. Důvodem vytvoření náběhových hran je nižší přesnost koncového bodu manipulační nástavby (efektoru), jehož hodnota přesnosti je na $\pm 0,5$ mm. Pro všechny navržené varianty zásobníků bude tento systém fungovat na obdobném principu.



Obrázek 29 – Ukázka vodících drážek na nástroji vlevo a v držáku vpravo

Rozdíl u nástrojů typu brusky a vrtačky je ve tvaru vodících drážek. Ty nejsou umístěny přímo na nástroji, ale na držáku tohoto nástroje. Jako příklad je uveden držák brusky ten lze vidět na obrázku 30.

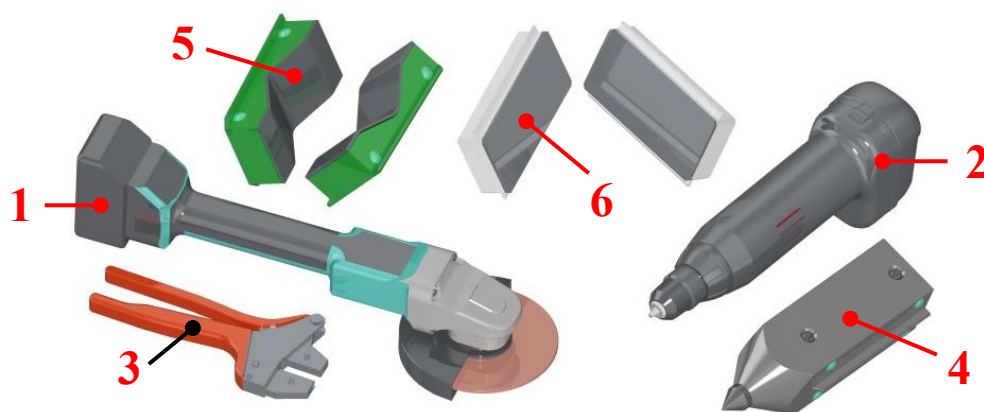


Obrázek 30 – 3D model držáku nástroje pro vrtačku a brusku

5 Návrh nástrojů a čelistí

Na základě předchozích informací bylo vyspecifikováno několik typů vhodných nástrojů. Mezi tyto nástroje byla vybrána aku úhlová bruska (1), aku vrtačka (2), nůžky na přestřihávání drátu (3) a posledním nástrojem je kovový hrot pro rozbíjení skleněných tabulí (4). Pro manipulaci s objekty různých tvarů byla zvolena potřeba navržení dvou typů čelistí (5), (6). Každý z nástrojů bude blíže popsán v následujících bodech.

5.1 Nástroje



Obrázek 31 – Přehled vybraných nástrojů

5.1.1 Aku úhlová bruska

Pokud se podíváme na vybavení většiny zásahových robotů, brusku má v zásobníku takřka každý robot k dispozici. Manipulace s bruskou a zaměření místa, kde chceme s bruskou pracovat, usnadňuje kamera umístěná přímo na efektoru. Konstrukce držáku brusky je pak uzpůsobena tak, aby měl operátor na kotouč od brusky co nejlepší výhled.



Obrázek 3 – bruska [4]

Pro úsporu nákladu byla použita sériově vyráběná bruska s akumulátorem od firmy Makita. Tím odpadá nutnost nechat vyrábět brusku přímo na zakázku. Jediná nutná úprava by spočívala v navržení obvodu pro zapínání a vypínání chodu brusky. Aby byl operátor schopen tyto funkce ovládat na dálku. Realizace této operace by spočívala ve vytvoření malého dálkově ovládaného modulu, který by se vložil už přímo do brusky, nebo by se instaloval na držák. Technické parametry jsou uvedeny v tabulce 7.

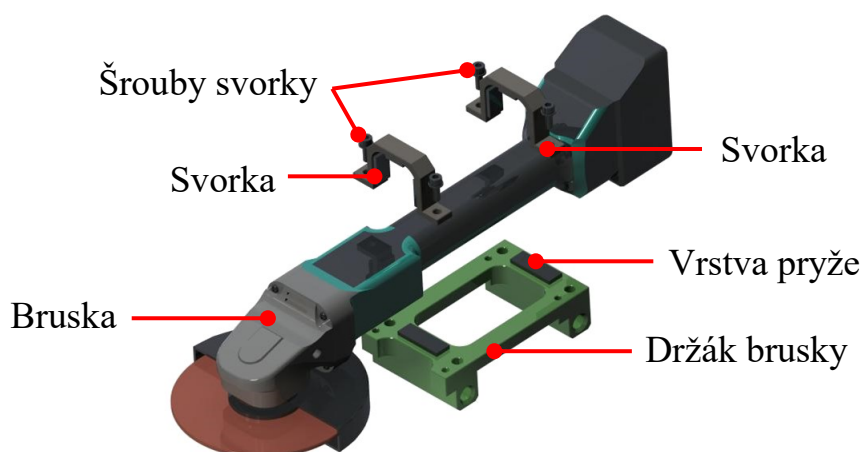
Bruska je uchycena k držáku pomocí dvou svorek. Utažením šroubů svorek dojde k sevření těla brusky mezi držák a svorky. Aby nedošlo k přímému kontaktu, odděluje

nalepená vrstva pryže tělo brusky od hliníkového držáku. Ta se při dotažení šroubů zdeformuje a bruska bude v držáku pevně držet. Tření mezi držákem a bruskou bude dostatečně velké, aby při práci s bruskou nedocházelo k jejímu posouvání proti směru řezání.

Volba brusného kotouče bude záviset na materiálu řezaného objektu. Pro řezání oceli a nerezů je vhodný umělý korund. Pro řezání cihel a betonu pak diamantové kotouče.

Tabulka 7 – Technické parametry brusky [4]

<i>Aku úhlová bruska 125mm Li-ion 18V/5,0Ah,systainer</i>		
Parametr	Hodnota	Jednotky
Otáčky naprázdno	8 500	ot/min
Max. průměr kotouče	125	mm
Hmotnost	2,5	Kg
Kapacita akumulátoru	6,0	Ah



Obrázek 33 – Vytvořený 3D model brusky i s držákem

5.1.2 Aku vrtačka



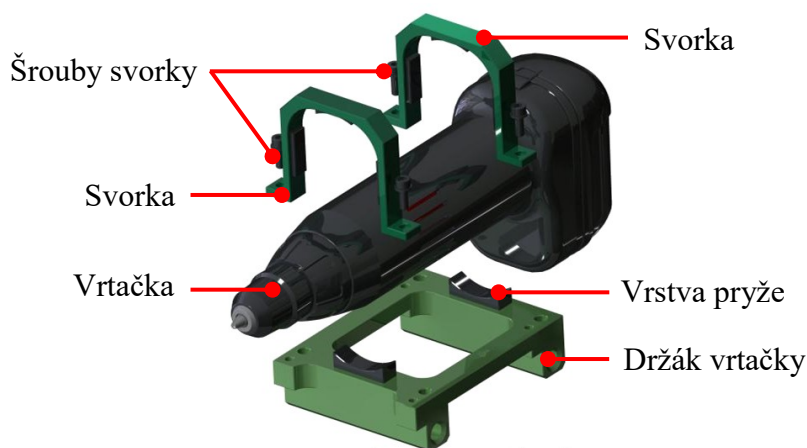
Aku vrtačka, podobně jako bruska, podstatně navyšuje možnosti použití zásahového robotu. Může sloužit například pro vyvrtávání pozorovacích průzorů, navrtávání zámku dveří, odebrání vzorků apod. Systém uchycení vrtačky k držáku funguje obdobně jako u brusky. Avšak oproti sériově vyráběné brusce bylo potřeba tělo vybrané vrtačky upravit. Při návrhu a výrobě se dbá na vhodnou ergonomii pro pohodlné

Obrázek 4 – Vrtačka [5] držení vrtačky v ruce, aby nedocházelo k nežádoucím pohybům při vrtání, a aby i po delší době práce s ní člověka nebolela ruka. Toto rozměrné madlo by však v zásobníku zabíralo příliš mnoho prostoru, proto bylo nutné přistoupit k úpravě tvaru těla vrtačky. Vrtačka také disponuje led osvětlením zaměřeného do místa vrtání.

Tabulka 8 – Technické parametry vrtačky [5]

Aku bez uhlíkový šroubovák Li-ion 18V 5,0 Ah, systainer		
Parametr	Hodnota	Jednotky
Otáčky	1 700	ot/min
Max. průměr vrtáku	13	mm
Hmotnost	1,3	Kg
Kapacita akumulátoru	6,0	Ah

Systém uchycení vrtačky k držáku je zcela obdobný jako u brusky, pouze s přizpůsobením rozměrů. Vrtačka je uchycena k držáku pomocí dvou svorek. Utažením šroubů svorek dojde k sevření těla vrtačky mezi držák a svorky.



Obrázek 35 – Vytvořený 3D model vrtačky i s držákem

5.1.3 Kleště

Při pohybu robotu v neznámém prostředí, například pokud bude robot vyslán na pozorování zájmového objektu, nebo jen převážet vojenský materiál, může narazit na překážky v podobě ostnatého, nebo žiletkového drátu nataženého bez přerušení kolem chráněného místa. Pokud by se jimi pokusil projed, zcela určitě by došlo k proražení pneumatik a ztrátě mobility vozidla. Případně by se robot mohl do překážky zaklínit a uváznout. Pro podobné případy, byly do zásobníku zařazeny lisovací kleště Knipex. Čelisti těchto kleští se při zavírání pohybují paralelně proti sobě, což byl primární důvod výběru (viz obrázek 36). Při přestřihávání drátu tak nedojde k jeho vytlačování z čelistí při zavírání, jak se děje u klasických kleští s pákovým mechanismem, ale postupný stlačení drátu mezi čelisti.

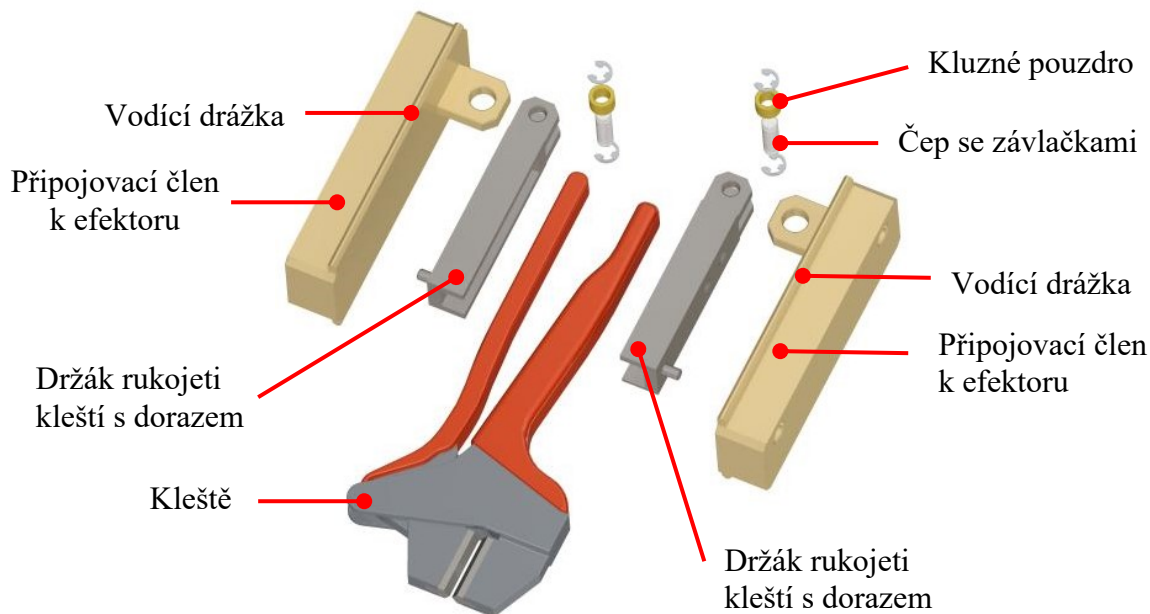


Obrázek 36 – Lisovací kleště Knipex [6]

Kleště není potřeba po nákupu nijak upravovat nebo požadovat po výrobci speciální úpravu. Pouze se zakoupí nebo se případně nechají vyrobít vyměnitelné čelisti. Čelisti jsou umístěny ve vodících drážkách zajištěny šroubkem, tudíž je lze snadno vyměnit v případě poškození.

Tabulka 9 – Technické parametry kleští

Lisovací kleště KNIPEX 9743200		
Parametr	Hodnota	Jednotky
Délka	200	mm
Hmotnost	988	g
Materiál hlavy	Brunýrovaná ocel	—

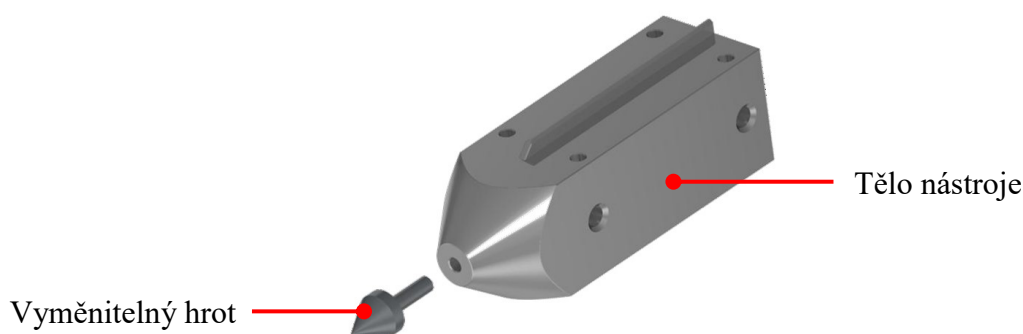


Obrázek 37 – Vytvořený 3D model kleští i s držákem

5.1.4 Hrot pro rozbíjení skla

V rámci operačního nasazení robotu může nastat situace, kdy bude potřeba průzkumu uzavřeného prostoru kamerou umístěnou na efektoru. Ať už by se jednalo o uzavřenou budovu bez volného přístupu, nebo zamčené auto odstavené na parkovišti. Proto byl navržen jednoduchý, ale účinný nástroj určený k rozbíjení okenních tabulí. 3D model lze vidět na obrázku 38.

Samotný nástroj se skládá ze dvou částí. První část tvoří masivní ocelové tělo nástroje, které umožní bezpečné a dostatečně tuhé spojení s efektozem. Po rozbití skla tak nemohou vzniklé střepy poškodit nástroj, nebo ohrozit spojení nástroje s efektozem. Druhou část nástroje představuje snadno vyměnitelný kalený ocelový hrot, zašroubovaný do těla nástroje. V případě opotřebení nebo ztráty může obsluha provést snadnou výměnu tohoto poškozeného dílu.



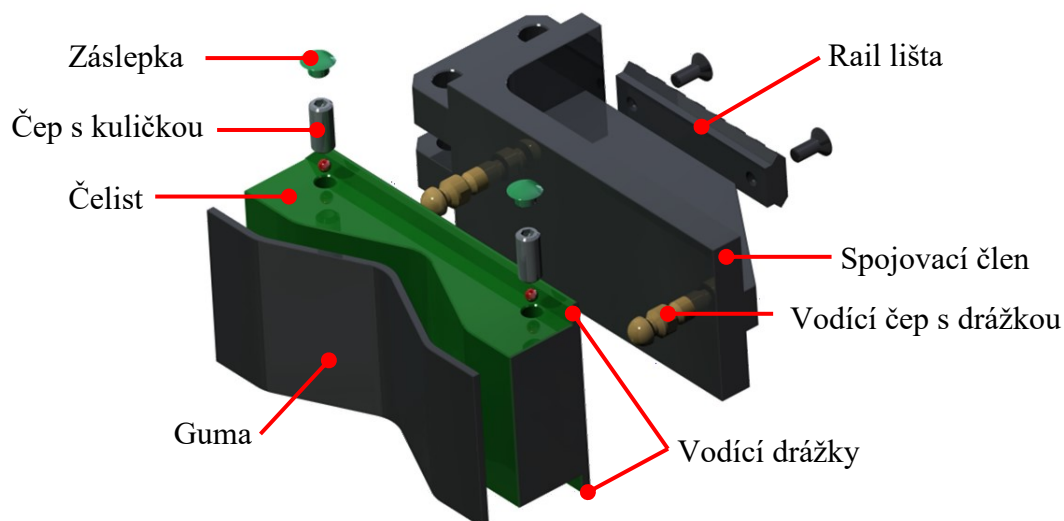
Obrázek 38 – Vytvořený 3D model hrotu

5.2 Čelisti

Pro manipulaci s objekty byly navrženy dva typy čelistí. První čelist má rovnou dotykovou plochou. To umožní manipulaci s objekty, které mají rovné hrany, či zvedání malých objektů manipulace (dále už jen OM) ze země. Druhé čelisti mají modifikovaný tvar s vybráním ve tvaru V. Pro pohodlnou manipulaci s cylindrickými objekty se sníženým rizikem vypadnutí objektu z čelistí. Rozměry čelistí odpovídají rozměrům čelistí původního efektoru.

5.2.1 Pro manipulaci s cylindrickými objekty

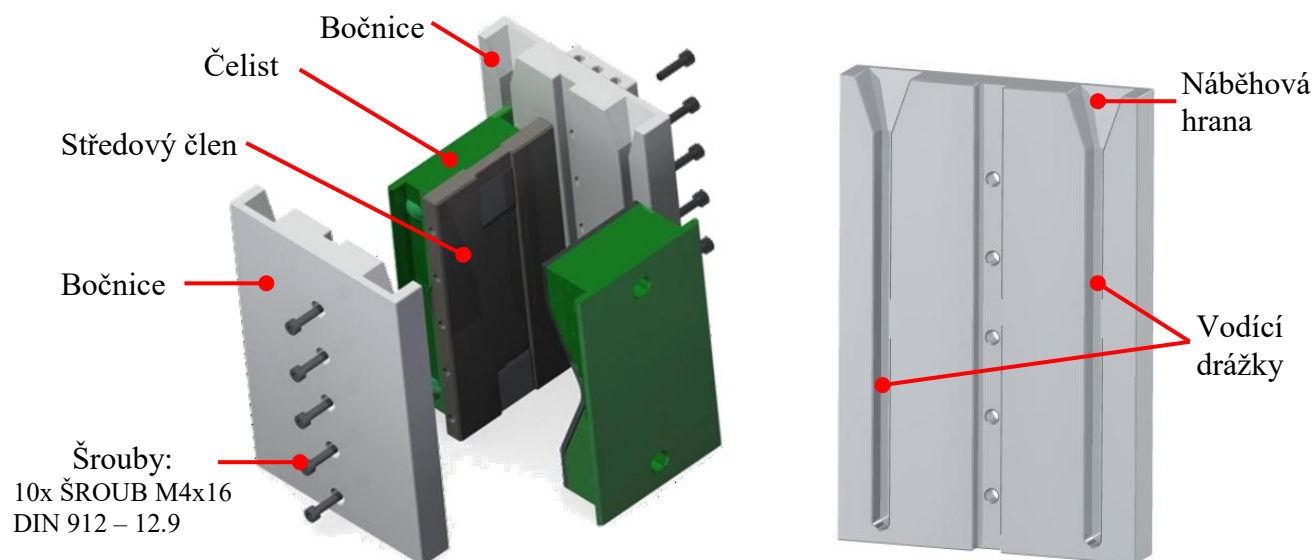
Podobu navržených čelistí vidíme na obrázku 39. Samotná čelisti je označena zelenou barvou. Povrch, který bude v kontaktu s OM, je opatřen ochrannou vrstvou gumy, aby nedocházelo k poškození povrchu čelisti a prodloužila se její životnost. V úvahu připadá hned několik druhů materiálů, ze kterých by se mohla čelist vyrobit a to ocel, hliník případně tvrdý plast. Jako první volba byla přijata ocel. Výhodou je dostupnost a cena materiálu, zušlechtnění povrchu pro větší tvrdost. Ovšem z vytvořeného 3D modelu vyšla najevo hmotnost čelisti z oceli a to 1,72 kg. Pokud sečteme hmotnost dvou čelistí, snížíme celkovou nosnost efektoru o 3,44 kg. Nejlepší volbou se proto stala slitina hliníku, která ušetří hmotnost, při dobré pevnosti a tvrdosti materiálu.



Obrázek 39 – 3D model čelistí pro manipulaci s objekty s cylindrickým tvarem

Pro bezpečné a spolehlivé uchycení čelistí v zásobníku byl vytvořen odpovídající typ držáku, který vychází z popisu v bodě 4.2.4. Systém navedení a uchycení nástrojů v zásobníku. Je složen ze tří sešroubovaných dílů. Dvě pevné bočnice, které v sobě mají vyfrézované vodící drážky pro drážku na čelisti. Uprostřed bočnic je drážka, kde zapadne středový člen pro pohodlnější vystředění během montáže. Následně se každá bočnice stáhne pěti inbusovými šrouby.

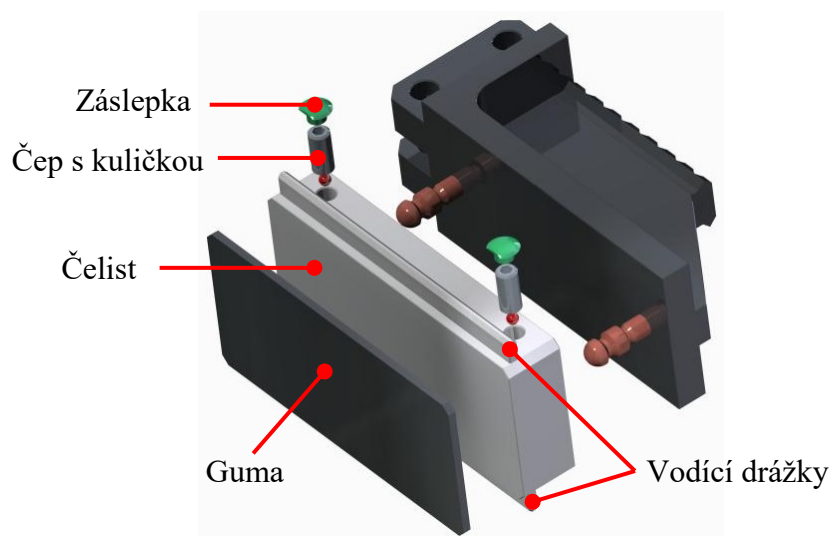
Držák čelisti pro varianty A a B je zcela obdobný. Rozdíl u varianty C je takový, že držáky nespojují středový člen, ale jsou našroubovány na samostatné desce, ke které se šroubují všechny nástroje. To znamená úsporu jednoho vyráběného dílu.



Obrázek 40 – 3D model držáku s čelistmi s detailem bočnice

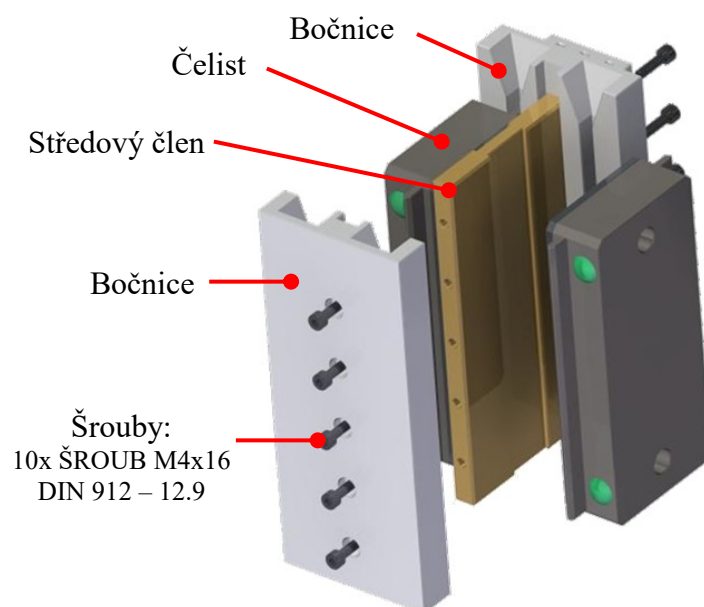
5.2.2 Pro manipulaci s prizmatickými objekty

Tato čelist je rozměrově stejná, jako předchozí jediným rozdílem je její tvar. Čelist již nemá vyrobenou drážku tvaru V, ale je zcela rovná. Tím je získána větší kontaktní plocha pro manipulaci s OM.



Obrázek 41 – 3D model čelistí pro manipulaci s tělesy s rovnými plochami

Systém uložení čelisti a tvar držáku je identický s držákem jako u čelisti pro manipulaci s cylindrickými objekty, proto není třeba jej znova popisovat. Náhled na vytvořený 3D model vidíme na obrázku 42.



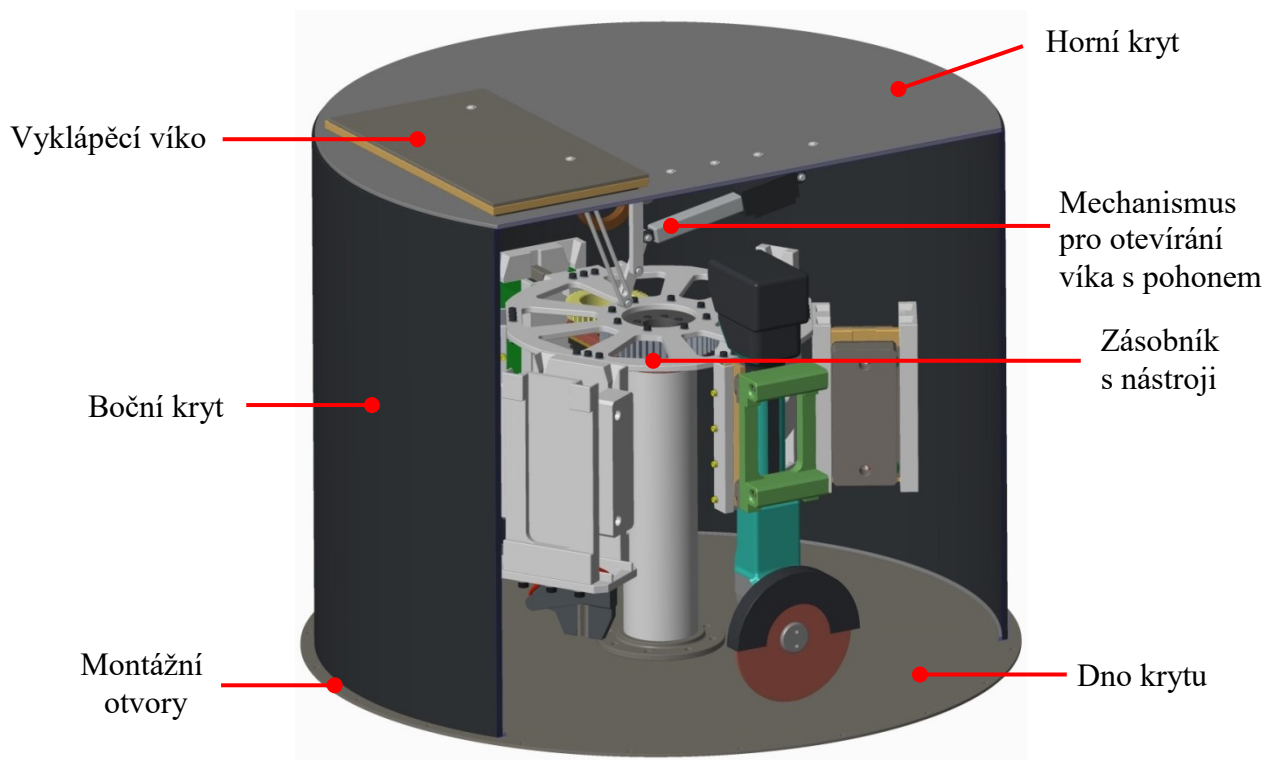
Obrázek 42 – 3D model držáku s čelistmi

6 Varianty řešení zásobníku

Byly navrženy tři konstrukčně odlišné varianty řešení. První dvě varianty umožňují rotaci zásobníku s nástroji. Jejich výhoda spočívá v jednom odebíracím místě nástrojů/čelistí skrz vyklápěcí víko. To umožňuje použití jednodušší aplikace pro operaci výměny čelistí/nástrojů. V poslední navržené variantě má každý nástroj své odebírací místo, tedy celkem šest odebíracích míst, a z toho důvodu složitější řídicí aplikaci pro manipulační nastavbu robotu.

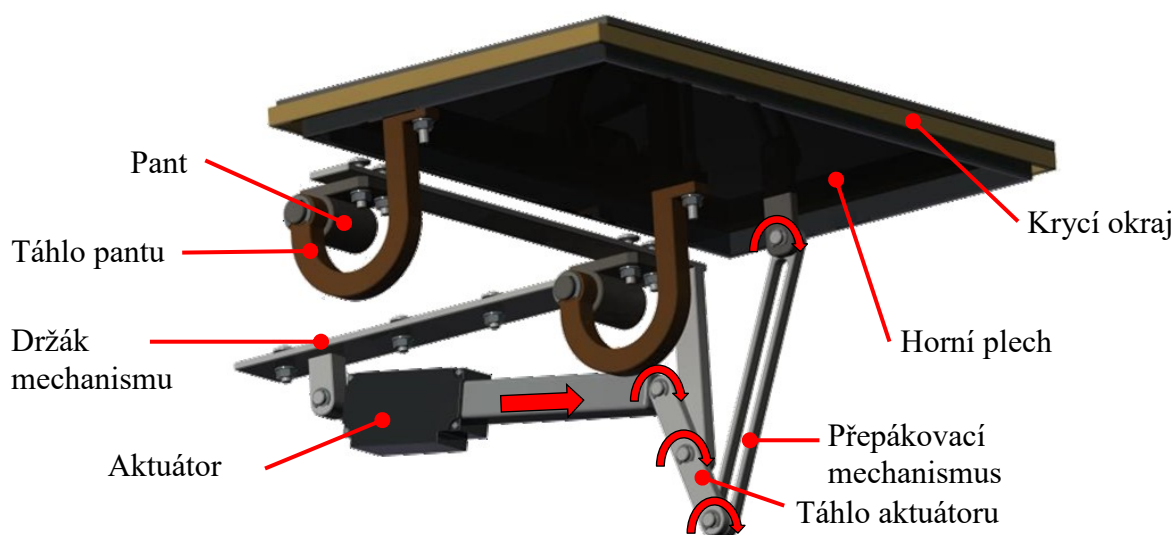
6.1 Varianta A

Na obrázku 43 lze vidět způsob zakrytování zásobníku včetně prostoru výklopného víka a systém jeho otevírání. Ten je zobrazen ještě v detailu na obrázku 44. Boční kryt zásobníku tvoří zároveň nosnou konstrukci pro horní kryt s víkem a mechanismem pro jeho otevírání. Tloušťka plechu je 5 mm. Plech bude v místě kontaktu s horním a spodním dnem krytu zavařen po celém svém obvodu tak docílíme sto procentní těsnosti. Pro montáž zásobníku na robot slouží montážní otvory rovnoměrně rozmístěné po obvodu dna krytu. Oddělit celý zásobník například pro potřebu oprav bude otázka několika minut.



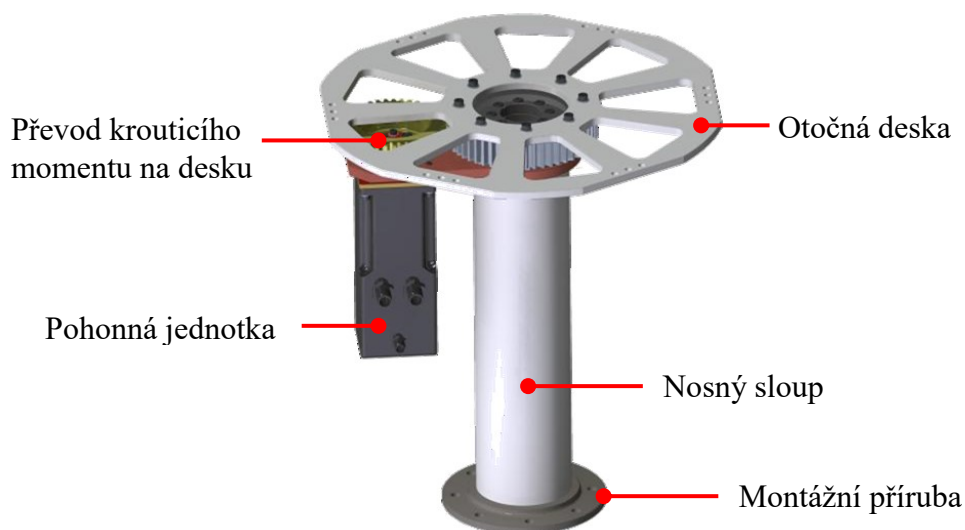
Obrázek 43 – Náhled 3D modelu varianty A

Úhel vyklopení víka řídí aktuátor, jehož pístnice tlačí na jedno z táhel aktuátoru od přepákovacího mechanismu. Aktuátor disponuje zpětnovazebním potenciometrem. Řídicí systém bude tedy schopen dobře řídit velikost vysunutí pístnice aktuátoru a tím úhel naklopení víka. S přihlédnutím na konstrukci mechanismu pro otevírání víka zásobníku bude maximální úhel otevření 100° vůči rovině zcela zavřeného víka. Technické parametry použitého aktuátoru jsou uvedeny v tabulce 12.



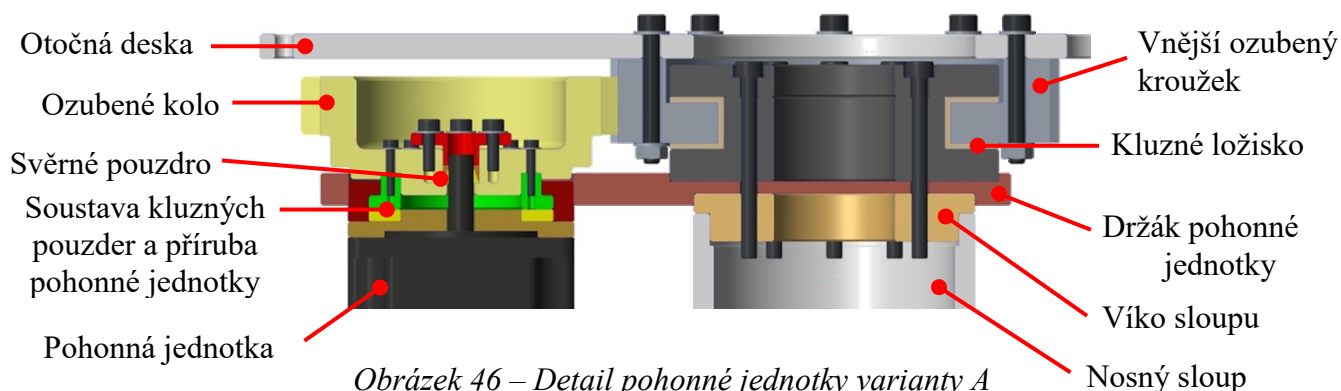
Obrázek 44 – Detail mechanismu pro otevírání víka zásobníku

Z obrázku 45 lze vyvodit podobu nosné části zásobníku. Montážní příruba je pevně sešroubována se spodním krycím plechem. Do ní bude zalepen nosný sloup. Důvodem lepení je zabránění vzniku tepelných a tvarových deformací vznikajících svařovacím procesem. K vystředění nosného sloupu na montážní přírubě slouží osazení, do něhož sloup zapadne. Pro detailní popis pohonu otočné desky slouží obrázek 47.



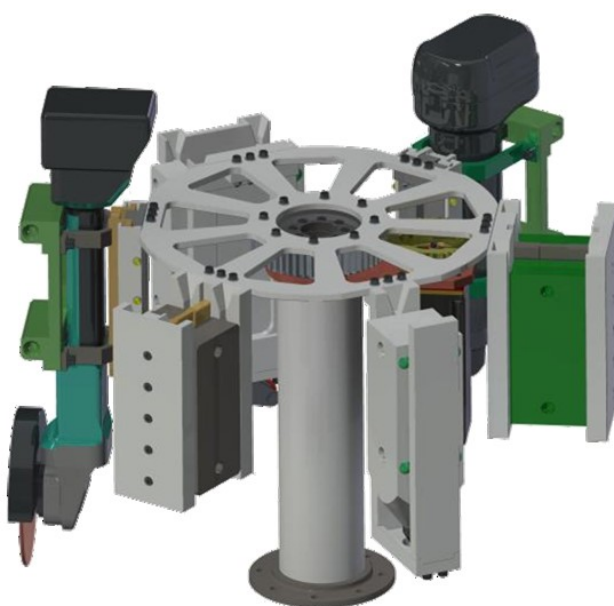
Obrázek 45 – Nosná část zásobníku varianty A

Na obrázku 46 je vidět řez uložení otočné desky včetně pohonu. Otočná deska je umístěna na horním vnějším ozubeném kroužku ložiska a zajištěna osmi inbus šrouby. Ozubený kroužek je součástí kluzné ložiska [10]. Obě součásti jsou spolu s držákem pohonné jednotky pomocí šroubů smontovány osmi šrouby s víkem sloupu. Ten je taktéž jako montážní příruba přilepen k nosnému sloupu. Pohonná jednotka je složena z krokového motoru typu NEMA 23 doplněném o enkodér a brzdu [11].



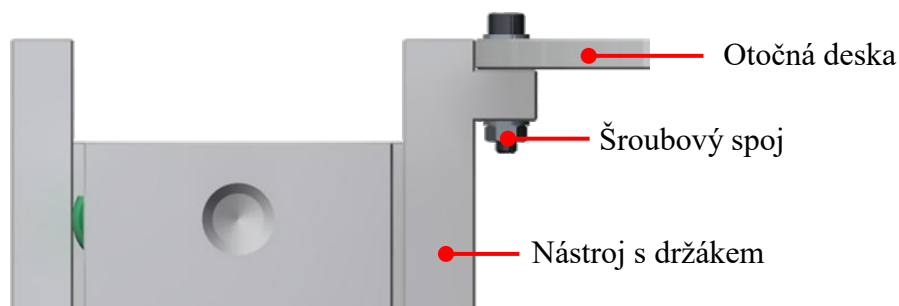
Obrázek 46 – Detail pohonné jednotky varianty A

Obrázek 47 slouží jako ukázka zásobníku varianty A se všemi nástroji. Při volbě průměru otočné desky se dbalo na dva hlavní parametry a to co nejmenší hodnotu průměru desky a rozmístění nástrojů po obvodu desky. Průměr otočné desky razantně ovlivňuje průměr bočního krytu respektive zástavbový prostor zásobníku. Rozmístění nástrojů oproti tomu hraje roli při rovnoměrném zatížení desky a velikosti potřebného prostoru pro výměnu nástrojů efektořem. Hodnota průměru otočné desky byla tedy rozumným kompromisem mezi všemi těmito podmínkami.



Obrázek 47 – Pro porovnání varianty A s nástroji

Uchycení nástrojů k otočné desce je znázorněné na obrázku 48. Spojení musí být snadno rozebíratelné, spolehlivé, bezpečné a dostatečně tuhé. Jako vhodné spojení držáku s deskou se ukázaly šroubové spoje. Držák s osazením se přiloží k desce a stáhne se několika šrouby. Počet použitých šroubů se liší v závislosti na velikosti držáku.



Obrázek 48 – Detail uchycení nástrojů s držákem k otočné desce (varianta A)

Tabulka 10 – Technické parametry ložiska s ozubeným kroužkem [10]

<i>Typ PRT-01-30-TO-ST</i>		
Parametr	Hodnota	Jednotky
Hmotnost	0,4	Kg
Axiální nosnost statická	7 000	N
Radiální nosnost statická	5 000	N
Max. klopný moment	200	N.m
Norma pro ozubení	DIN 3967	-

Tabulka 11 – Technické parametry motoru [11]

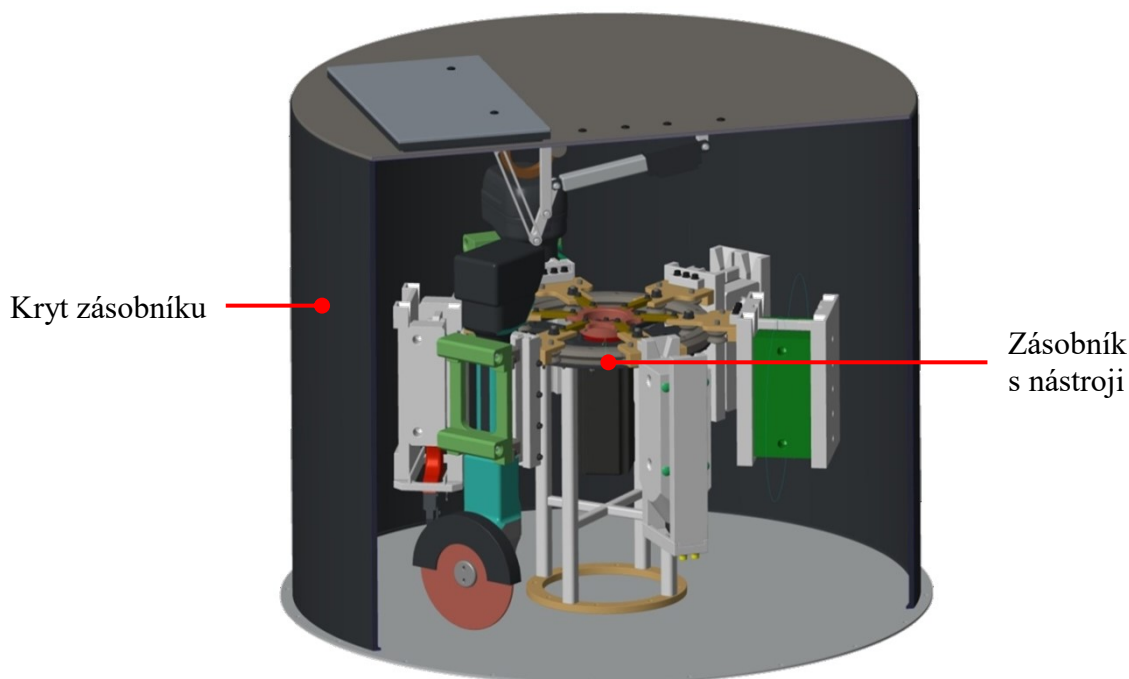
<i>Typ MOT-AN-S-060-035-060-M-D-AAAD</i>		
Parametr	Hodnota	Jednotky
Napětí	24	V
Kroutící moment	3,5	N.m
Počet impulzů na otáčku	500	1/min
Okolní teplota	- 10 až + 50	°C
Krytí IP	65	-
Hmotnost	1,82	Kg

Tabulka 12 – Technické parametry pohonu víka [9]

<i>Typ L12-P</i>		
Parametr	Hodnota	Jednotky
Délka výsuvu	100	mm
Hmotnost	56	g
Max. rychlost výsuvu	6,5	mm/s
Max. síla výsuvu	80	N
Max. zpětná síla	45	N
Max. statická síla	200	N
Opakovatelná přesnost	$\pm 0,5$	mm
Napájení	12	V
Krytí IP	54	-

6.2 Varianta B

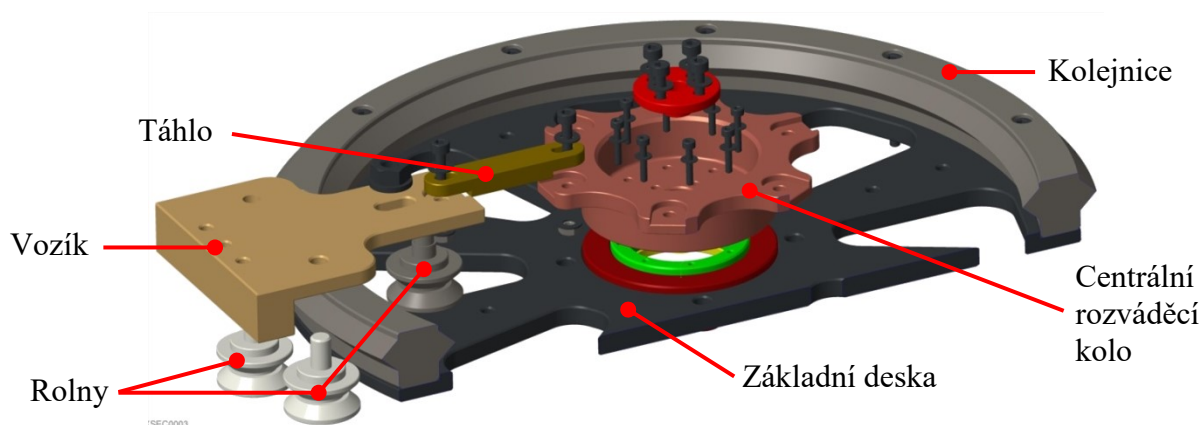
U varianty B je celé krytování i s víkem a systémem jeho otevírání obdobný jako u varianty A, proto už nebude znovu popisováno, ale představíme si pouze samotný zásobník nástrojů, jehož konstrukce je zcela odlišná. Použit je i obdobný krokový motor s brzdou a enkodérem.



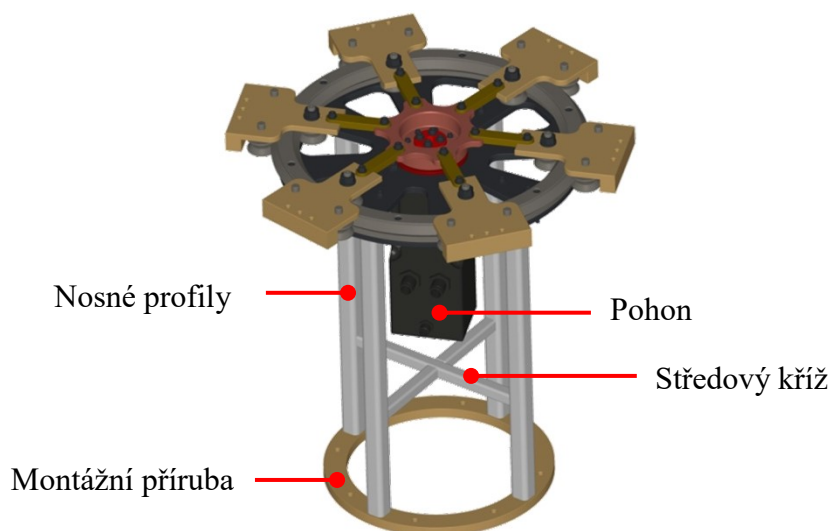
Obrázek 49 – Náhled 3D modelu varianty B

Základním kamenem této konstrukce je kolejnice s dvojicí V drážek jedna je na vnitřní a druhá na vnější straně. Po těchto kolejnicích se odvalují rolly. Pro získání stability jsou dvě rolly na vnější straně a jedna na vnitřní. Všechny tři rolly spojuje vozík. Krouticí moment s pohonu na vozík se přenáší táhlem z centrálního rozváděcího kola. Kolo je přímo spojeno s výstupní hřídelí motoru pomocí svěrného pouzdra. Místo klasického ložiska byla navržena soustava kluzných pouzder. Hlavním důvodem byla potřeba minimalizovat rozměry. Detail této sestavy je na obrázku 50.

Všechny výše popsané komponenty jsou smontovány se základní deskou. Pro odlehčení je doplněna o několik větších otvorů jak je vidět na obrázku 50. Ty nemají žádnou jinou funkci. Základní deska drží pomocí šroubových spojů na jednoduchém rámu. Rám tvoří čtyři nosné čtvercové hliníkové profily vyztužené středový křížem z obdobných profilů. Rám je k montážní přírubě přivařen.

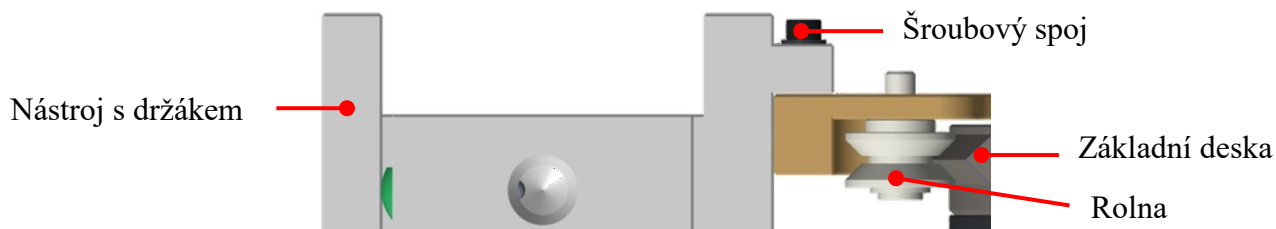


Obrázek 50 – Detail varinaty B



Obrázek 51 – Nosná část varianty B

Uchycení nástrojů k otočné desce je znázorněné na obrázku 52. Jedná se o obdobné spojení jako u varianty A. Držák nástroje s osazením je se základní deskou spojen pomocí několika šroubů. Počet použitých šroubů se může lišit v závislosti na velikosti držáku.

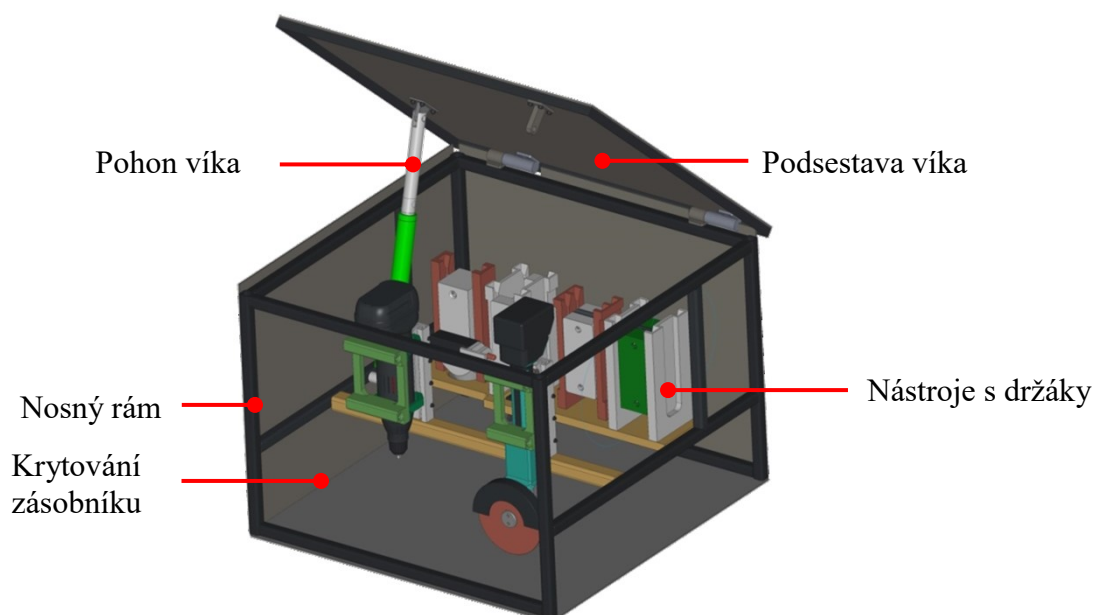


Obrázek 52 – Detail uchycení nástrojů s držákem k otočné desce (varianta B)

6.3 Varianta C

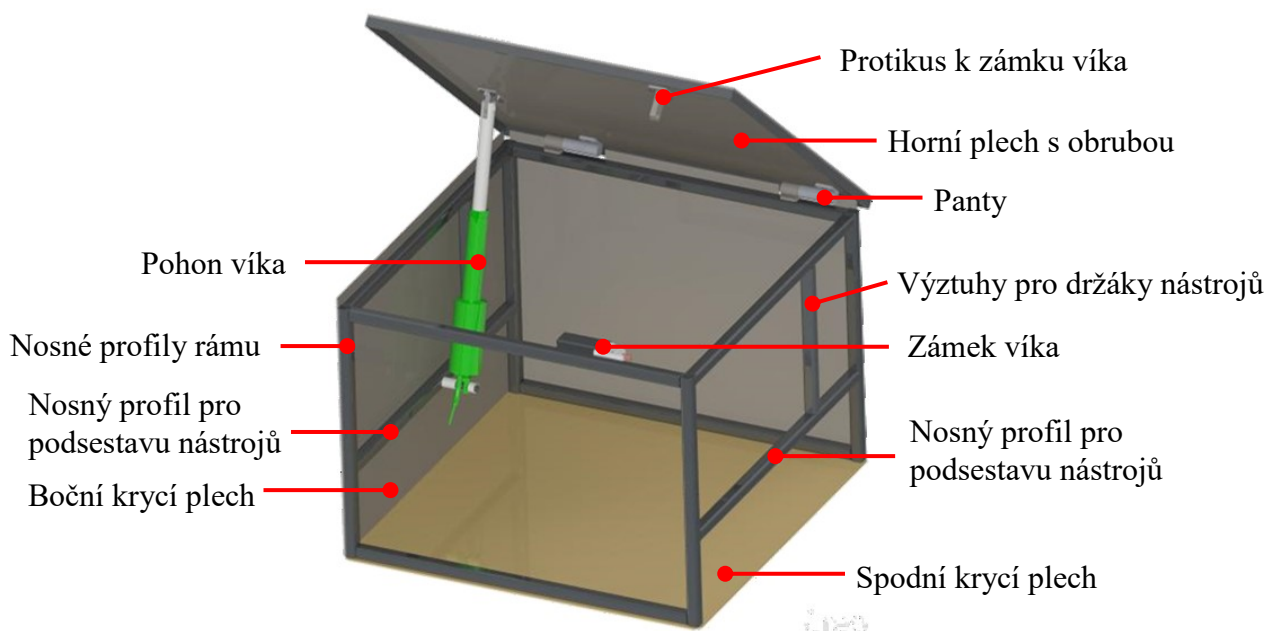
Poslední navržená varianta nedisponuje možností jakékoli změny pozice nástroje v zásobníku ať už jeho rotací, nebo jiným pohybem. Každý nástroj má svou pevnou pozici a na jeho místo respektive do jeho držáku nebude možné umístit jiný nástroj/čelist. Tato změna znamená vyšší nároky na řídicí software manipulační nástavby. Software bude muset najed s připojovacím členem efektoru do šesti pozic namísto jedné, jak je tomu u dvou předešlých variant. Jistým ulehčením bude skutečnost, že všechny nástroje mají připojovací místa pro spojovací člen ve stejné výšce. Bude tedy potřeba v programu měnit jenom dvě, ze tří souřadnic polohy nástroje v prostoru.

Pro další vysvětlení principu bude zásobník rozdělen na dvě podsestavy. Na podsestavu nosného rámu společně s víkem a jeho pohonem. Druhá podsestava pak bude představovat nástroje s držáky.



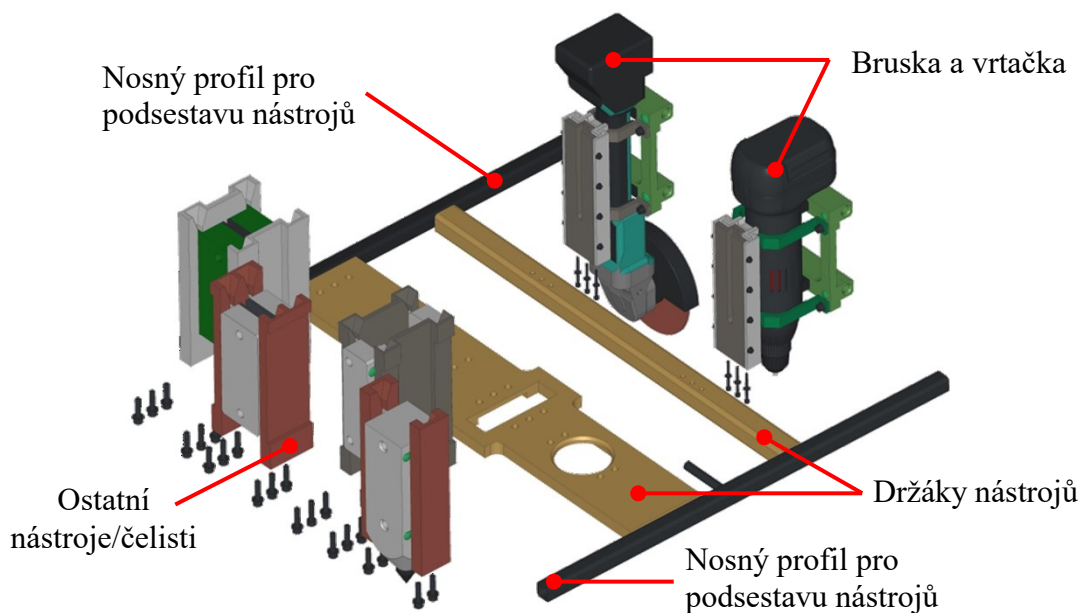
Obrázek 53 – Náhled 3D modelu varianty C

Rám zásobníku této varianty je svařen z hliníkových čtvercových profilů. Materiál byl vybrán s ohledem na co nejnižší hmotnost, i za cenu vyšších nákladů na polotovary a obtížnější svařitelnost. Všechny krycí plechy krom plechu tvořící víko mají tloušťku 3 mm a jsou rovněž hliníkové. Jejich tloušťka by měla činit plech dostatečně odolný proti běžným oděrkám a nárazům vznikajících během provozu. Při požadavku vyšší odolnosti by se na úkor vyšší hmotnosti dala použít větší tloušťka plechu, jiný materiál, či vytvořit kolem zásobníku ochrannou klec. Horní plech je doplněn o obrubu, která zesílí celé víko po obvodu.



Obrázek 54 – Detailní pohled na podstavu rámu s víkem

Všechny nástroje/čelisti uloženy ve svých držácích jsou uchyceny na dvou samostatných držácích nástrojů. Pro brusku a vrtačku se jedná o obdobný hliníkový profil jako je u rámu zásobníku. Pro zbytek nástrojů byl zvolen obrobený výpalek z ploché tyče. Uspořádání bylo zvoleno s ohledem na co největší úsporu místa. Oba držáky nástrojů budou do nosných profilů přišroubovány. A to tak, že na nosný profil se přivaří krátká plochá tyč. Po svaření se tyč obrobí a po svaření celého rámu se na ni umístí držák. Oba díly se následně provrtají a stáhnou šroubovým spojem. Všechny nástroje bude tedy možno vyjmout ze zásobníku najednou. To ulehčí obsluhu práci při údržbě a čištění.



Obrázek 55 – Detailní pohled na podsestavu nástrojů

Tabulka 13 – Technické parametry aktuátoru víka [27]

Typ LA22		
Parametr	Hodnota	Jednotky
Délka výsuvu	150	mm
Max. rychlost výsuvu	37	mm/s
Max. síla výsuvu	300 (při 12 V)	N
Opakovatelná přesnost	± 1	mm
Napájení	12	V
Krytí IP	65	-

7 Výběr optimální varianty

Pro vybrání optimální varianty byla použita kritériální analýza. Bylo zvoleno pět kritérií, podle kterých se bude hodnotit a bodovat každá varianta. Následně se kritéria mezi sebou porovnají. Tak se získá důležitost každého kritéria a přiřadí se jim váhy, po součtu vážených indexů každé varianty se sumou bodů přiřazené každé variantě. Varianta, která získá největší počet bodů, je označena za optimální. K porovnání jsou 3 navržené varianty řešení. Pro dosažení nezaujatého posudku všech variant se na kritériální analýze podíleli dva další lidé. Konkrétně pan Bc. Michal Vocetka a pan Bc. Jiří Suder, za což jim děkuji.

7.1 Kritéria

Kritéria, podle kterých se bude každá varianta hodnotit, jsou uvedeny níže v tabulce 13. Každé z nich je blíže vysvětleno na další stránce.

Tabulka 14 – Hodnocená kritéria

Kritérium	Druh kritéria
K1	Zástavbové rozměry
K2	Hmotnost
K3	Počet odběrných míst nástrojů ze zásobníku
K4	Cena
K5	Náročnost na údržbu, spolehlivost

7.2 Ohodnocení jednotlivých kritérií

Tabulka 15 – Množství bodů za míru splnění kritéria

Úroveň splnění kritéria	Počet bodů
Vysoká úroveň	4 bodů
Dobrá úroveň	3 bodů
Průměrná úroveň	2 bodů
Nízká úroveň	1 bodů
Nevyhovující úroveň	0 bodů

7.3 Popis jednotlivých kritérií a hodnoty variant

Kritérium č. 1 – Zástavbové rozměry

Bere se v úvahu půdorysný rozměr zásobníku a následně jeho maximální výška. Všechny rozměry byly převzaty z vytvořeného 3D modelu zásobníků.

Tabulka 16 – Kritérium č. 1 – Zástavbové rozměry

Varianty	Obsah půdorysu		Výška	
	Hodnota	Jednotky	Hodnota	Jednotky
Varianta A	356787,5	mm ²	523	mm
Varianta B	391470,7	mm ²	573	mm
Varianta C	367236,0	mm ²	462	mm

Kritérium č. 2 – Hmotnost

Počítá se z hmotností kompletního zásobníku včetně nástrojů, tak jak je vyobrazen ve 3D modelu. Hmotnost zásobníku sníží celkovou užitnou zátěž robotu při přepravě materiálu, s tohoto důvodu je předpokládána výroba valné většiny komponent z hliníku. Všechny hmotnosti byly převzaty z vytvořeného 3D modelu zásobníků.

Tabulka 17 – Kritérium č. 2 – Hmotnost

Varianty	Hmotnost	
	Hodnota	Jednotky
Varianta A	51,07	Kg
Varianta B	54,66	Kg
Varianta C	50	Kg

Kritérium č. 3 – Počet odběrných míst ze zásobníku

Přes odběrné místo bude manipulační nástavba odebírat a vracet nástroje ze zásobníku. Důležitá je tedy jeho poloha, aby byla nástavba schopna bez problému dosáhnout na všechny nástroje a pak počet těchto míst v zásobníku. Čím méně těchto míst, tím snazší řídicí aplikace pro manipulační nástavbu robota, jelikož se bude vracet pořád na stejné místo. V případě varianty C tedy statického zásobníku bude muset řídicí aplikace nástavby pracovat s dalšími pěti pozicemi.

Tabulka 18 – Kritérium č. 3 – Počet odběrných míst ze zásobníku

Varianty	Počet pozic	
	Hodnota	Jednotky
Varianta A	1	-
Varianta B	1	-
Varianta C	6	-

Kritérium č. 4 – Cena

Jedná se o odhad výrobní ceny za celý zásobník, ale bez nástrojů a jejich držáků ty jsou u všech variant obdobné s malými rozdíly. Postup při určování ceny byl následující. Pro každou variantu byla sestavena přehledná tabulka s rozepsanými předpokládanými výrobními operacemi včetně časů k nim potřebným. Tyto časy pak byly vynásobeny hodinovou sazbou za danou výrobní operaci. Při tvorbě ceny za zásobník byla v úvahu brána i cena potřebných polotovarů, přičemž se rozlišovala cena ocelového a hliníkového polotovaru. Množství potřebného polotovaru bylo vždy odhadnuto. Při tvorbě ceny nebyla zvažována problematika potřebné objednávky polotovaru v minimálním množství a od toho se odvíjející cena polotovaru.

Tabulka 19 – Kritérium č. 4 – Cena

Varianty	Cena za polotovar	Cena za výrobu	Celkem	
	Hodnota	Hodnota	Hodnota	Jednotky
Varianta A	5 100	119 054	124 154	Kč
Varianta B	4 982	112 713	117 695	Kč
Varianta C	3 630	30 070	33 700	Kč

Kritérium č. 5 – Náročnost na údržbu, spolehlivost

V tomto kritériu se u každé navržené varianty ve zkratce vypíší předpokládané operace pro údržbu s odhadem, jak bude náročná údržba v době nasazení a k jakým poruchám může dojít. Zda bude při poruše robot schopen dále pracovat na svém úkolu, nebo bude nutné vrátit se s ním na základnu a provést opravu. Také jsou vzaty v úvahu potřebné výrobní technologie a dodávky náhradních dílů.

- **K5 – Varianta A**

Při výrobě bude potřeba skružit plech, který tvoří nosnou a ochranou část zásobníku a kvalitně jej svařit. Následně k němu slícovat horní plechový kryt a důkladně jej přivařit. To samé platí pro spodní krycí plech. U zásobníku nelze vyjmout samostatně s robotu sestavu s nástroji bez demontáže krytování, tedy celého zásobníku. Dále je nutno dobře sladit a přesně vyrobit přepákovací mechanismus pro otevírání víka. V případě průniku nečistot, velkého množství vody do prostoru zásobníku, může dojít k omezení funkce v místě ložiska s ozubeným kroužkem a ozubeného kola. Bude potřeba pořídit krokový motor, který je přizpůsoben pro styk s kapalinou.

- **K5 – Varianta B**

Tato varianta má krytování a systém otevírání víka zcela shodný s předchozí variantou, liší se pouze rozměry. Výše vypsane nevýhody tohoto způsobu krytování tedy platí i zde. Jedná se o náročnost výroby svařence plechových dílů. Výrobně náročný a složitý mechanismus otevírání víka zásobníku. Potřeba pořízení krokového motoru s vyšší ochranou IP pro kontakt s kapalinou. V systému jsou použity rolny jezdící po kolejnici. Tento způsob bude náročný na výrobu, rovněž náchylný na nečistoty a mohly by nastat problémy s tuhostí systému. Pro demontáž držáků nástrojů bude potřeba demontovat krytování celého zásobníku.

- **K5 – Varianta C**

U předešlých dvou variant je v případě poruchy systému uskutečňující rotaci nástrojů vyřazen celý zásobník z provozu. To u této varianty nemůže nastat, jelikož jsou nástroje na pevných pozicích. Varianta disponuje jediným pohonem pro otevírání víka. Problém by mohl nastat při otevření víka v extrémním počasí. Kdy tlak větru na celou plochu „přetlačí“ aktuátor. Absence pohonů a jakýchkoli „točivých“ součástí eliminuje potřebu mazání a riziko znehynění součástí.

7.4 Zhodnocení jednotlivých kritérií

Hodnocení provedli tito tři hodnotitelé:

Bc. Martin Kaszper – student oboru Robotika

Bc. Michal Vocetka – student oboru Robotika

Bc. Jiří Suder – student oboru Robotika

Pro váhu významnosti q , byla zvolena lineární závislost: $q = 0,25 * v + 1$, kde v je počet voleb.

Tabulka 20 – Hodnotitel Bc. Martin Kaszper

Varianty	Kritéria				
	K1	K2	K3	K4	K5
Variant A	3	3	4	2	3
Variant B	1	2	4	3	3
Variant C	4	4	1	4	4

Tabulka 21 – Hodnotitel Bc. Michal Vocetka

Varianty	Kritéria				
	K1	K2	K3	K4	K5
Variant A	3	3	4	1	2
Variant B	2	2	4	2	1
Variant C	3	4	1	4	4

Tabulka 22 – Hodnotitel Bc. Jiří Suder

Varianty	Kritéria				
	K1	K2	K3	K4	K5
Variant A	2	3	4	2	3
Variant B	2	1	4	3	2
Variant C	4	3	1	4	4

7.5 Porovnávání párů kritérií

- významnější kritérium je napsáno tučně červenou barvou příklad označení: **K1**

Tabulka 23 – Porovnávání párů kritérií – hodnotitel: Bc. Martin Kaszper

Porovnávané páry kritérií				Počet voleb v	Váha významnosti q	Pořadí
K1	K1	K1	K1	1,5	1,375	4.
K2	K3	K4	K5			
	K2	K2	K2	3	1,75	1. a 2.
	K3	K4	K5			
		K3	K3	0,5	1,125	5.
		K4	K5			
			K4	3	1,75	1. a 2.
			K5	2	1,5	3.

Tabulka 24 – Porovnávání párů kritérií – hodnotitel: Bc. Michal Vocetka

Porovnávané páry kritérií				Počet voleb v	Váha významnosti q	Pořadí
K1	K1	K1	K1	2,5	1,625	2.
K2	K3	K4	K5			
	K2	K2	K2	3,5	1,875	1.
	K3	K4	K5			
		K3	K3	2	1,5	3.
		K4	K5			
			K4	1,5	1,375	4.
			K5	0,5	1,125	5.

Tabulka 25 – Porovnávání párů kritérií – hodnotitel: Bc. Jiří Suder

Porovnávané páry kritérií				Počet voleb v	Váha významnosti q	Pořadí
K1	K1	K1	K1	2,5	1,625	2. a 3.
K2	K3	K4	K5			
	K2	K2	K2	3,5	1,875	1.
	K3	K4	K5			
		K3	K3	0,5	1,125	5.
		K4	K5			
			K4	1	1,25	4.
			K5	2,5	1,625	2. a 3.

7.6 Výpočet celkových indexů variant

Vážený index se vypočte: $i = q * \text{počet bodů}$

Tabulka 26 – Výpočet celkových indexů variant – hodnotitel: Bc. Martin Kaszper

Porovnání jednotlivých variant		Variant A	Variant B	Variant C
Kritérium	Váha významnosti	Index	Index	Index
K1	1,375	4,125	1,375	5,5
K2	1,75	5,25	3,5	7
K3	1,125	4,5	4,5	1,125
K4	1,75	3,5	5,25	7
K5	1,5	4,5	4,5	6
Celkový součet vážených indexů		21,875	19,125	26,625

Tabulka 27 – Výpočet celkových indexů variant – hodnotitel: Bc. Michal Vocetka

Porovnání jednotlivých variant		Variant A	Variant B	Variant C
Kritérium	Váha významnosti	Index	Index	Index
K1	1,625	4,875	3,25	4,875
K2	1,875	5,625	3,75	7,5
K3	1,5	6	6	1,5
K4	1,375	1,375	2,75	5,5
K5	1,125	2,25	1,125	4,5
Celkový součet vážených indexů		20,125	16,875	23,875

Tabulka 28 – Výpočet celkových indexů variant – hodnotitel: Bc. Jiří Suder

Porovnání jednotlivých variant		Variant A	Variant B	Variant C
Kritérium	Váha významnosti	Index	Index	Index
K1	1,625	3,25	3,25	6,5
K2	1,875	5,625	1,875	5,625
K3	1,125	4,5	4,5	1,125
K4	1,25	2,5	3,75	5
K5	1,625	4,875	3,25	6,5
Celkový součet vážených indexů		20,75	16,625	24,75

7.7 Vyhodnocení hodnotové analýzy

- výpočet průměru vážených indexů od všech hodnotitelů pro každou variantu
- Počet hodnotitelů: 3

$$\bar{\phi}_i = \frac{\text{Celkový součet vážených indexů všech hodnotitelů}}{\text{Počet hodnotitelů}} \quad (1)$$

Tabulka 29 – Vyhodnocení kritériální analýzy – určení optimální varianty

Hodnotitelé	Varianty		
	A	B	C
Bc. Martin Kaszper	21,875	19,125	26,625
Bc. Michal Vocetka	20,125	16,875	23,875
Bc. Jiří Suder	20,75	16,625	24,75
Celkem	62,75	52,625	75,25

Tabulka 30 – Vyhodnocení kritériální analýzy – určení optimální varianty

Varianty	Průměr vážených indexů	Pořadí
A	20,92	2.
B	17,54	3.
C	25,1	1.

7.8 Závěr analýzy

K výběru optimální varianty byla použita kritériální analýza. Pro zaručení nezájatého posudku všech variant se na analýze podíleli další dva lidé, kteří jsou s danou problematikou seznámeni a měli k dispozici dostatek materiálů pro nestranné posouzení všech navržených variant.

Z tabulky 29 je na první pohled jasné, že jako optimální varianta se jeví varianta C, protože dosáhla nejvyššího průměru vážených indexů ze tří navržených variant. Popis varianty C je v bodě 6.3.

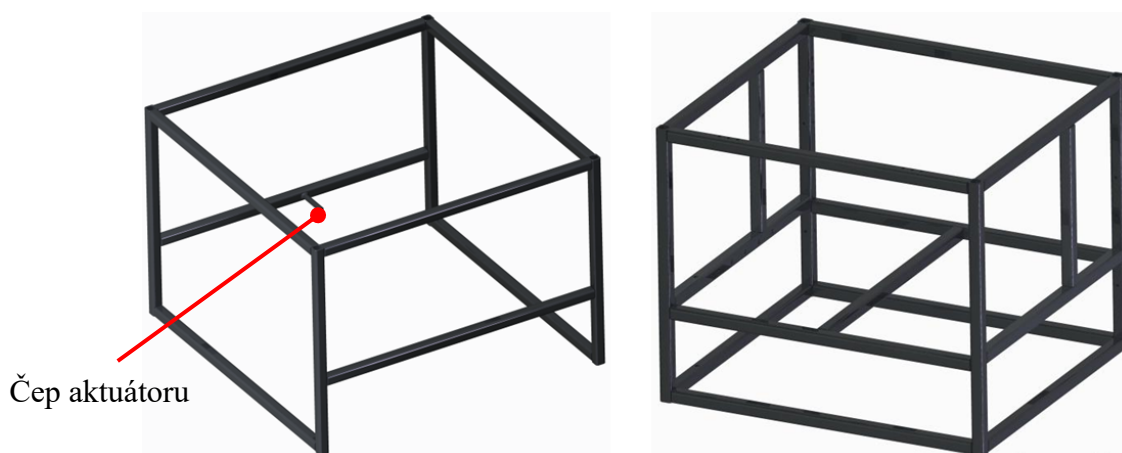
Na obrázku 74 je vidět náhled robotu s vybraným zásobníkem namontovaným na jeho ložné ploše. Pozice umístění není konečná a může být pozměněna.

8 Konstrukční řešení vybrané varianty

V následujících bodech je popsán vývoj dílčích celků konstrukce vybraného zásobníku. Pozměněny byly všechny celky, ale největší změna nastala u systému uzamykání víka. Ten je popsán v bodě 8.5.

8.1 Rám zásobníku

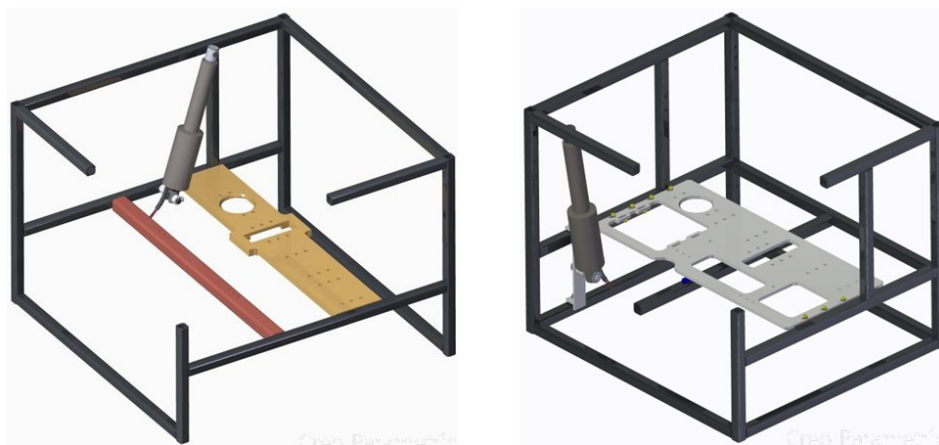
U obou rámu je použit shodný hliníkový čtvercový profil 20x3. Celý rám byl masivně vyztužen pro zvýšení odolnosti celé konstrukce. Hlavním důvodem je možnost nárazu nástavby při manipulaci s OM, nebo objektu během pohybu robotu v těžkém terénu.



Obrázek 56 – Porovnání původního (vlevo) a nového rámu (vpravo)

8.2 Systém uchycení držáků nástrojů v zásobníku

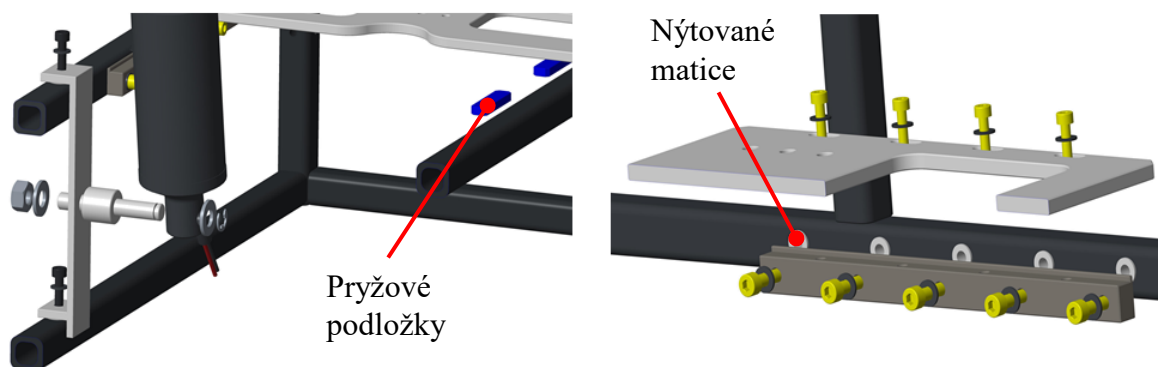
Původní dva držáky nástrojů nahradila celistvá deska vyrobená na CNC vypalovačce. Je doplněno o otvory pro odlehčení a montážní otvory pro box od elektroniky. Detail montážních bodů desky je na obrázku 60. Pozměněna byla také pozice aktuatoru od víka.



Obrázek 57 – Porovnání původního (vlevo) a nového držáku nástrojů (vpravo)

Krom změny pozice aktuátoru byl pozměněn i způsob jeho uchycení k rámu. Původně byl držen na čepu, který byl přivařen k profilu rámu. Z obav před možnou deformací čepu při svařování a potřebou snížit pozici aktuátoru byl navržen nový způsob uchycení. Je zobrazen na obrázku 58 vlevo. Vyznačené pryžové podložky zamezují přímému kontaktu držáku nástrojů s podpůrným profilem.

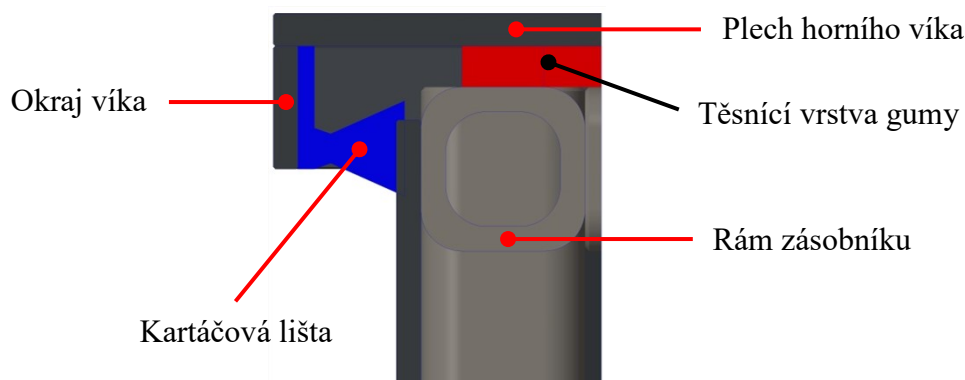
Na tentýž obrázku vpravo je zobrazen detail uchycení držáku nástrojů na rámu zásobníku. Nejprve je do profilu rámu našroubována obrobená plochá tyč, na kterou se držák umístí a zajistí šrouby. U všech součástí, které jsou šroubovány do některého z profilů rámu, není závit vytvořen v profilu, ale jsou použity ocelové nýtované matice s plochou hlavou [22]. Detail spojení je zobrazen na obrázku 60.



Obrázek 58 – Detaily uzlů: vlevo zajištění aktuátoru, vpravo uchycení desky

8.3 Těsnění zásobníku proti vnikání vody a nečistot

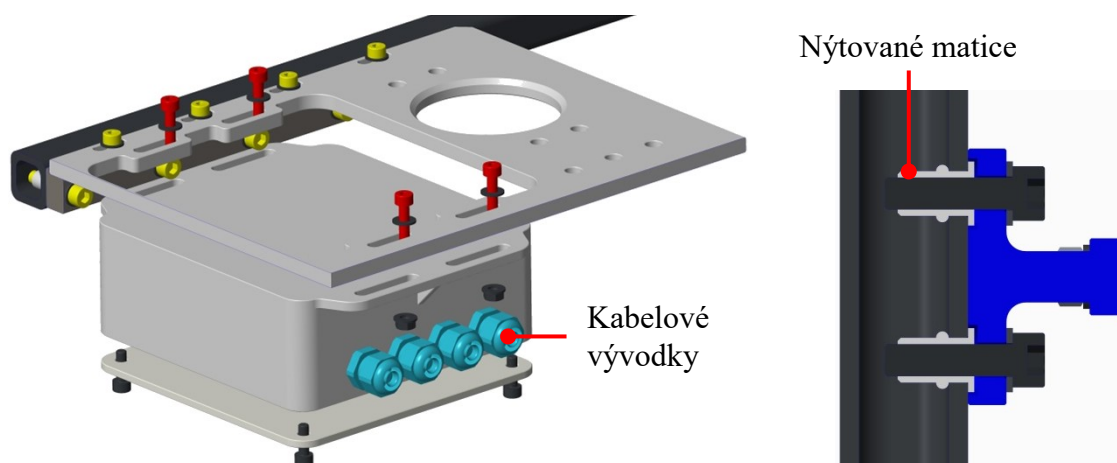
Systém utěsnění vnitřního prostoru zásobníku má tři stupně. Prvním je plechový okraj víka. Ten zabráňuje kontaktu hrubých nečistot s těsněním. Proti dalším nečistotám a z části i poletujícímu prachu je prostor chráněn těsnící kartáčovou lištou [24]. A nakonec je na vrchní straně rámu zásobníku nalepena vrstva gumy, která zamezí přístupu vody např. při mytí zásobníku tlakovou vodou. Tento systém je nepřerušeně po celém obvodu rámu zásobníku.



Obrázek 59 – Detail utěsnění prostoru zásobníku

8.4 Umístění elektroniky

Veškerá potřebná elektronika bude ukryta v plastovém boxu pro elektroniku s IP 65 [23]. Kabele vystupující z boxu jsou vedeny přes kabelové vývodky [25]. V protilehlé stěně od kabelových vývodků bude vystupovat zásuvka pro napájení aktuátoru pro nouzové otevření víka zásobníku. V krycím plechu je proti této zásuvce vytvořen otvor zakrytý šroubovací záslepkou.



Obrázek 60 – Detail boxu elektroniky (vlevo) a spojení nýtovaných matic (vpravo)

Tabulka – 31 Technické parametry boxu [23]

Typ U-01-52		
Parametr	Hodnota	Jednotky
Rozměr	120 x 120 x 60	mm
Hmotnost	0,2	Kg
Cena	118	Kč
Krytí IP	65	-

Tabulka 32 – Technické parametry kabelových vývodků [25]

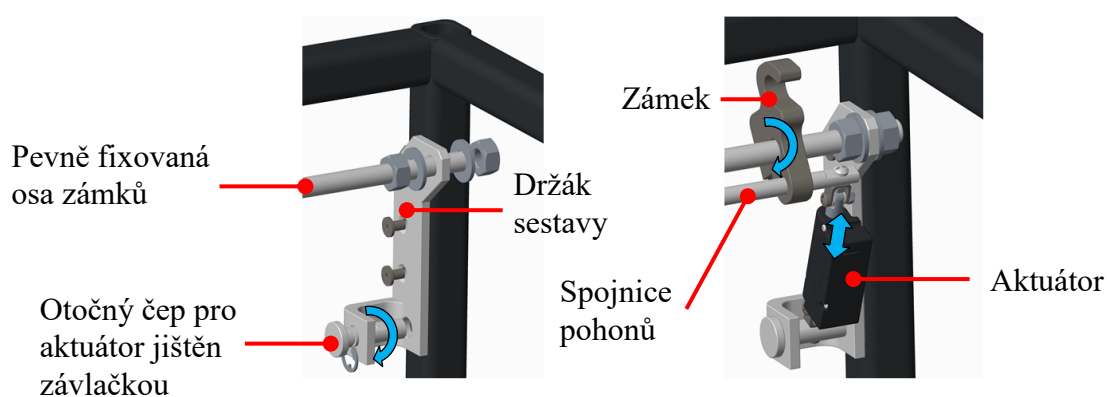
Typ HSK–K, vel. M12x1,5		
Parametr	Hodnota	Jednotky
Ø kabelu	3 až 6,5	mm
Krytí IP	68	-

8.5 Systém uzamykání víka

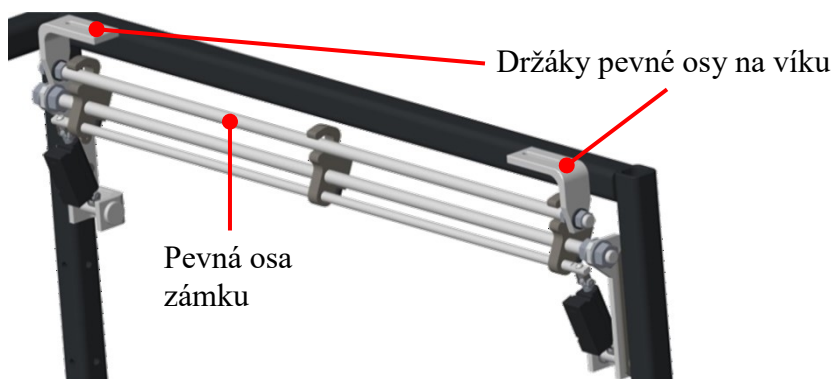
U původní varianty zásobníku se počítalo s použitím průmyslového bezpečnostního zámku např. bezpečnostního spínače firmy Euchner. U tohoto provedení byla nevýhoda

nerovnoměrného zajištění celé délky víka. Tedy v případě použití jednoho zámku uprostřed nebudou krajní místa pevně jištěna. Další nevýhodou by byla jejich maximální výdrž, která je pro danou aplikaci nevyužitá a taktéž by byla potřeba upravit konstrukci víka pro dostatečné uchycení čepu zámku.

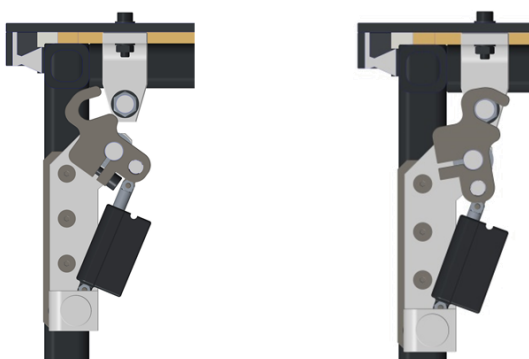
Proto byl navržen systém zámku, který je schopen pevně zachytit víko zásobníku po celého jeho délce. Pevnou osu, která je uchycena na víku drží 3 zámky, které se otáčejí kolem jednotné osy. Všechny zámky jsou uchyceny svěrným spojem. Zámky otáčí dva synchronizované aktuátory s potenciometry spojené jednou osou. Popis komponent a náhled na celou sestavu je na obrázku 61 a obrázku 62.



Obrázek 61 – Detail částí zámku



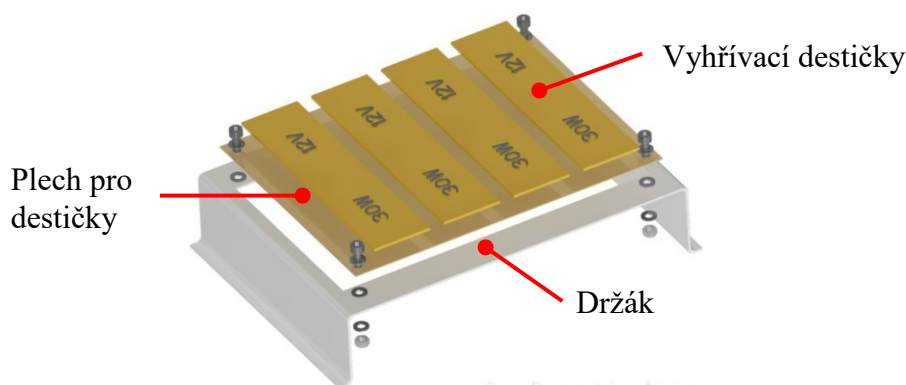
Obrázek 62 – Celá sestava zámku



Obrázek 63 – Odemykání zámku: vľevo odemčeno, vpravo zamčeno

8.6 Systém vyhřívání zásobníku

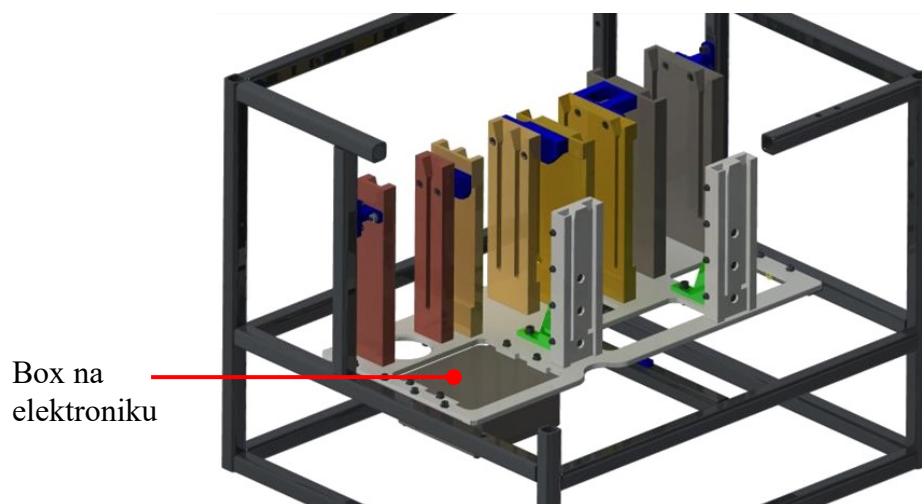
Pro případ, že se robot bude nacházet v prostředí, kde bude klesat teplota pod bod mrazu a mohlo by tak dojít k ovlivnění funkčnosti aktuátoru pro víko a zámek zásobníku, byl navržen jednoduchý systém udržování teploty v zásobníku. S tohoto důvodu je zásobník vybaven čtveřicí vytápěcích destiček [26]. Největší výhodou je jejich vodotěsnost. Podložky se nalepí na plechový držák a budou se nacházet pod nástroji. Tyto podložky se běžně používají k vyhřívání motorového prostoru osobních a nákladních automobilů, nádrží s kapalinou. Nutno dodat, že jakýkoli systém pro vytápění bude energeticky náročný a teplota se musí udržovat jen na minimální hodnotě. Samozřejmostí je vybavení zásobníku teploměrem a spínacím obvodem pro tyto destičky, který bude potřebnou teplotu udržovat.



Obrázek 64 – Podsestava vyhřívání zásobníku

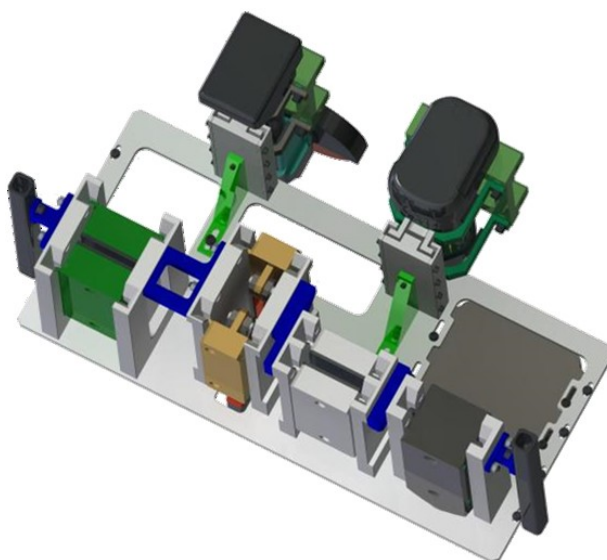
8.7 Systém uložení nástrojů v zásobníku

Uspořádání nástrojů v zásobníku se oproti původnímu návrhu změnilo změnou původního držáku. Nástroje byly rozmístěny tak, aby zabíraly co nejméně místa, ale zároveň neměli čelisti efektoru s přípojovacím členem problém s místem při výměně čelistí/nástrojů. Všechny držáky nástrojů/čelistí jsou ze spod přišroubovány k desce. Bruska a vrtačka mají navíc jako vzpěry dvě velké konzole. Pro zvýšení tuhosti jsou všechny držáky mimo brusku a vrtačku spojeny mezi sebou spojovacími prvky a krajní držáky nástrojů jsou přichyceny k profilu rámu. Tím se podstatně zvýší tuhost při jízdě robotu členitým terénem. K držáku je rovněž uchycen i box pro elektroniku. Všechny výztuhy jsou na obrázku 65 modře a zeleně.



Box na
elektroniku

Obrázek 65 – Detail podsestavy bez nástrojů (výztuhy jsou modré a zelené)



Obrázek 66 – Detail podsestavy s nástroji (výztuhy jsou modré a zelené)

9 Výpočtová část

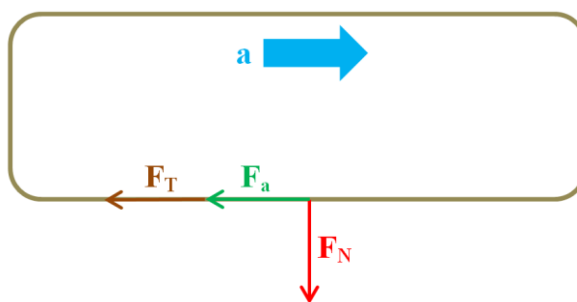
V této kapitole jsou provedeny kontrolní výpočty vybraných součástí.

9.1 Kontrola čepu v čelisti

První kontrolovaná součást je čep s drážkou představený v bodě 4.2.2. Na obrázku 67 je vidět umístění toho čepu a nastínění situace, na kterou bude kontrolován. Zátěž bude představovat 100 kilogramů vážící voják s plnou výstrojí, která se přibližuje hmotnosti 50 kilogramů a útočnou puškou s municí. To představuje dalších 6 kilogramů. Tohoto vojáka bude rameno táhnout po hliněném povrchu. Situace zachycení výstroje o nerovnosti terénu není uvažována. V každém spojovacím členu jsou dva tyto čepy, pro výpočet je brána nejhorší možná situace, kdy je zatěžován pouze jeden z těchto čepů.



Obrázek 67 – Obrázek pro doplnění popisu



Obrázek 68 – Síly působící na čep

F_T – třecí síla

F_a – síla vyvolaná zrychlením

F_N – normálová síla

a – směr zrychlení

DÁNO:

Průměr čepu:	$d = 9 \text{ mm}$
Hmotnost břemene:	$m = 156 \text{ kg}$
Zrychlení:	$a = 0,5 \text{ m/s}^2$
Gravitační zrychlení:	$g = 9,81 \text{ m/s}^2$
Součinitel smykového tření:	$f = 0,8$ [21]

- Součinitel smykového tření byl volen pro materiál třecích ploch **pryž – asfalt** za pohybu $\Rightarrow f = 0,6 \div 0,8 \Rightarrow \text{VOLEN } f = 0,8$ [21/str. 34]

Výpočet síly vyvolané zrychlením F_a :

(2)

$$F_a = m \cdot a$$

$$F_a = 156 \cdot 0,5$$

$$\underline{\underline{F_a = 78 \text{ N}}}$$

Výpočet tečné síly F_T :

(3)

$$F_T = F_N \cdot f$$

$$F_T = 1530,4 \cdot 0,8$$

$$\underline{\underline{F_T = 1224,3 \text{ N}}}$$

Výpočet normálové síly F_N :

(4)

$$F_N = Fg = m \cdot g$$

$$F_N = 156 \cdot 9,81$$

$$\underline{\underline{F_N = 1530,4 \text{ N}}}$$

Výpočet výsledné zatěžující síly F_V :

(5)

$$F_V = F_a + F_T$$

$$F_V = 78 + 1224,3$$

$$\underline{\underline{F_V = 1302,3 \text{ N}}}$$

Výpočet průřezu čepu S :

(6)

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

$$S = \frac{\pi \cdot 9^2}{4}$$

$$\underline{\underline{S = 63,62 \text{ mm}^2}}$$

Výpočet smykového napětí τ_s :

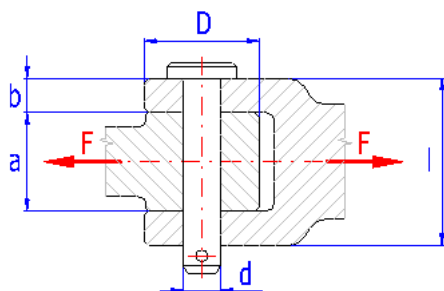
(7)

$$\tau_s = \frac{F_V}{S}$$

$$\tau_s = \frac{1302,3}{63,62}$$

$$\underline{\underline{\tau_s = 20,47 \text{ MPa}}}$$

Minimální dovolené napětí ve smyku u oceli 80 MPa. Čep vyhovuje.

9.2 Kontrola čepu aktuátoru

Čep se nachází v horním oku aktuátoru v místě, kde je spojen čepem s konzolou víka zásobníku. Čep bude zatěžován maximální silou, kterou dokáže aktuátor vyvinout tedy 300 N.

DÁNO:

Průměr čepu:	$d = 10 \text{ mm}$
Rozměr konzole:	$a = 23 \text{ mm}$
Rozměr konzole :	$b = 6 \text{ mm}$
Max. síla aktuátoru:	$F = 300 \text{ N}$

Výpočet ohybového napětí čepu σ_o :

$$\sigma_o = K_{sb} \cdot \frac{M_o}{W_o} = K_{sb} \cdot \frac{4 \cdot F \cdot (a + 2 \cdot b)}{\pi \cdot d^3}$$

$$\sigma_o = 3 \cdot \frac{4 \cdot 300 \cdot (23 + 2 \cdot 6)}{\pi \cdot 10^3}$$

$$\underline{\underline{\sigma_o = 40,1 \text{ MPa}}}$$

Výpočet tlaku v táhle p_1 :

$$p_1 = K_{sp} \cdot \frac{F}{d \cdot a}$$

$$p_1 = 3 \cdot \frac{300}{10 \cdot 23}$$

$$\underline{\underline{p_1 = 3,9 \text{ MPa}}}$$

(8) Výpočet smykového napětí čepu τ_s : (9)

$$\tau_s = K_{sb} \cdot \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot d^2}$$

$$\tau_s = 3 \cdot \frac{2 \cdot 300}{\pi \cdot 10^2}$$

$$\underline{\underline{\tau_s = 5,7 \text{ MPa}}}$$

(10) Výpočet tlaku ve vidlici p_2 : (11)

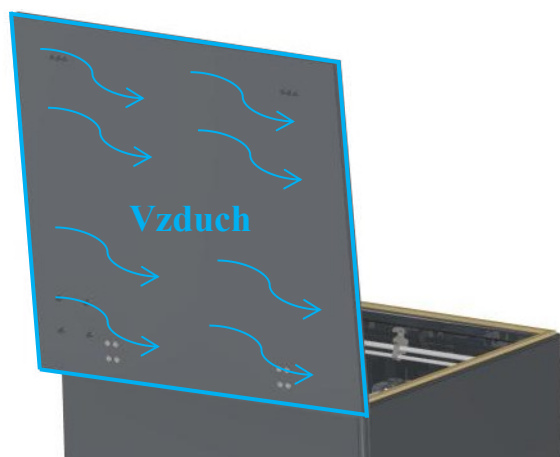
$$p_2 = K_{sp} \cdot \frac{F}{2 \cdot d \cdot b}$$

$$p_2 = 3 \cdot \frac{300}{2 \cdot 10 \cdot 6}$$

$$\underline{\underline{p_2 = 7,5 \text{ MPa}}}$$

Hodnoty napětí a tlaku jsou minimální. Spojení kontrole vyhovělo.

9.3 Výpočet zatížení otevřeného víka



V tomto bodě je vypočítávána síla, která bude zatěžovat otevřené víko zásobníku v extrémním počasí. Jako působící zátěž bude brán vítr o rychlosti 130 km/h, který bude působit na čelní stěnu víka. Vypočtená síla bude použita jako zatížení víka při simulaci deformace způsobené náporom větru.

DÁNO:

Rozměr víka:	$a = 0,566 \text{ m}$	
Rozměr víka:	$b = 0,53 \text{ m}$	
Hustota vzduchu:	$\rho = 1,153 \text{ kg/m}^3$	[27]
Součinitel odporu pro plochou desku:	$c_0 = 1,12$	[27]
Náporová rychlost	$v_\infty^2 = 130 \text{ km/h} = 36,1 \text{ m/s}$	

Výpočet plochy víka S_p :

$$S_p = a \cdot b$$

$$S_p = 0,566 \cdot 0,53$$

$$\underline{\underline{S_p = 0,3 \text{ mm}^2}}$$

(12) Výpočet síly odpor vzduchu F_{OZ} : (13)

$$F_{OZ} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c_0 \cdot S_p \cdot v_\infty^2$$

$$F_{OZ} = \frac{1}{2} \cdot 1,153 \cdot 1,12 \cdot 0,3 \cdot 36,1^2$$

$$\underline{\underline{F_{OZ} = 252,6 \text{ N}}}$$

10 Pevnostní analýzy

V tomto bodě budou provedeny pevnostní analýzy vybraných komponent. Analýzy byly zpracovány v programu Creo Simulate 3.0.

10.1 Pevnostní analýza víka zásobníku

V programu bylo simulováno provozní zatížení otevřeného víka zásobníku při vysoké rychlosti větru, který se do něj opírá. Síla, kterou bylo víko zatěžováno je vypočtena v bodě 9.3/rovnice 13.

Tyto analýzy slouží k zjištění maximálního průhybu víka s různými typy výztuh při dané zátěži. Podle toho byly voleny vstupní podmínky výpočtu. Nejprve je spočten případ, kdy krycí plech není nijak zesílen a následně jsou spočítány tři druhy možných výztuh plechu.

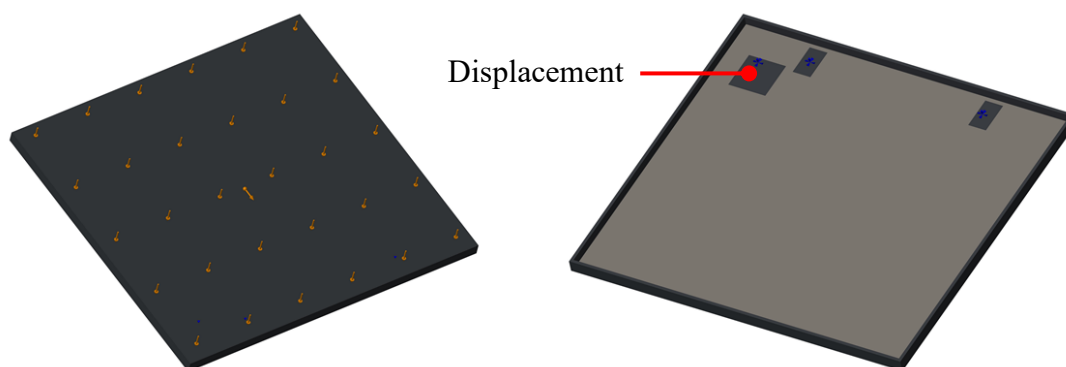
10.1.1 Vlastnosti materiálu víka

Tabulka 33 – Vlastnosti materiálu víka pro pevnostní analýzy

Vlastnosti materiálu		
Vlastnosti	Hodnota	Jednotky
Označení materiálu v Creo	Al 6061	-
Hustota	2710.2	Kg/m ³
Poissonovo číslo	0,3	-
Youngův modul pružnosti	68947.6	MPa

10.1.2 Vstupní podmínky výpočtu

Víko bylo zatíženo danou silou na celé ploše a byla přidána i působící gravitace. Dále bylo uchyceno displacementem v místě uchycení pantů a držáku aktuátoru. Na obrázku 69 vpravo, tmavě vyznačené.



Obrázek 69 – Vstupní podmínky analýzy víka

10.1.3 Výsledky analýzy

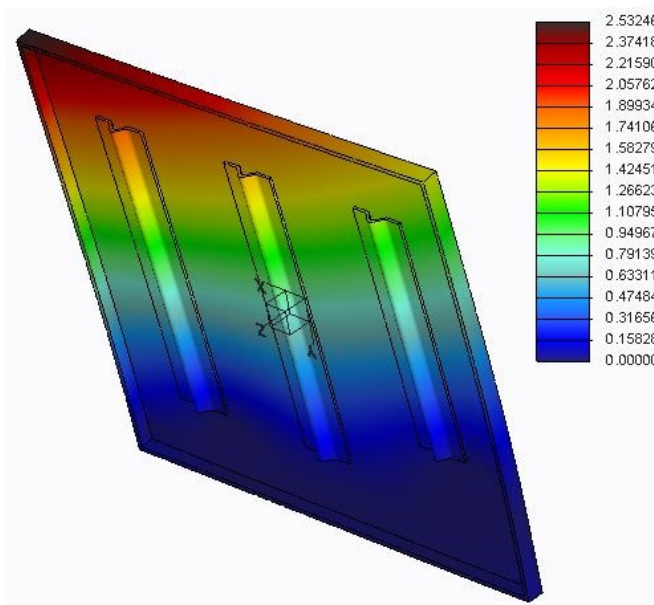
Na obrázku 70 jsou zobrazeny druhy použité výztuh. Výsledky všech analýz jsou vypsány v tabulce 33. Z provedených analýz vyšel nejlépe typ ohýbaný V plech. Ten bude také použit u zásobníku.



Obrázek 70 – Navržené druhy výztuh zleva: kříž, pásky plechu, ohýbaný V plech

Tabulka 34 – Výsledky analýz

Vlastnosti materiálu		
Druh výztuh	Hodnota	Jednotky
Bez výztuhy	3,97	mm
Kříž	3,11	mm
Pásky plechu	2,62	mm
Ohýbaný V plech	2,53	mm



Obrázek 71 – Výsledný průhyb

10.2 Pevnostní analýza víka spojovacího členu

V programu bylo simulováno provozní zatížení čelisti maximální povolenou silou, na kterou je efektor stavěn viz. tabulka 3. Tyto analýzy slouží k zjištění maximálního napětí působícího ve spojovacím členu za účelem změny materiálů z oceli na hliník. Díky tomu se nezvýší hmotnost efektoru a jeho nosnost bude zachována.

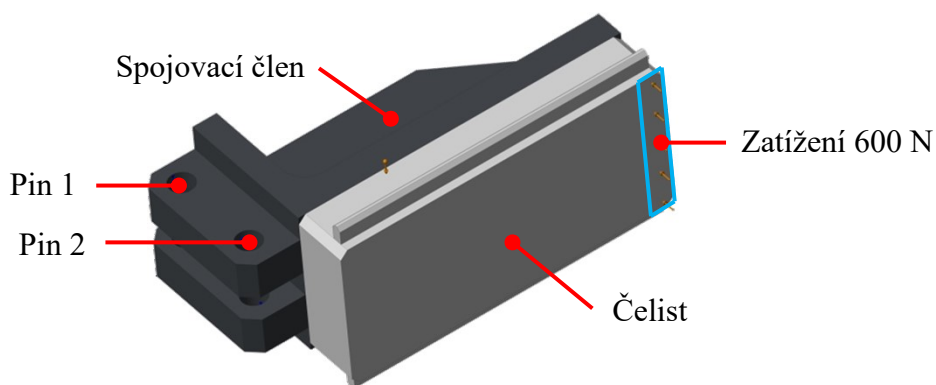
10.2.1 Vlastnosti materiálu spojovacího členu a čelisti

Tabulka 35 – Vlastnosti materiálu víka pro pevnostní analýzy

Vlastnosti materiálu		
Vlastnosti	Hodnota	Jednotky
Označení materiálu v Creo	Al 6061	-
Hustota	2710.2	Kg/m ³
Poissonovo číslo	0,3	-
Youngův modul pružnosti	68947.6	MPa

10.2.2 Vstupní podmínky výpočtu

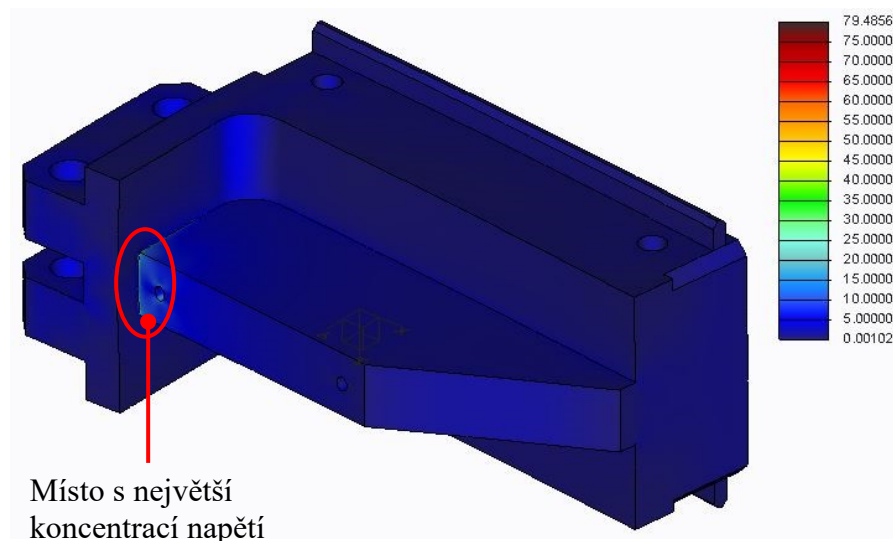
Síla (600 N) byla zadána jako ten nejhorší případ z hlediska namáhání spojovacího členu, tedy na konec čelisti. Do výpočtu byla rovněž zahrnuta gravitační síla. Obě součásti byly spojeny vazbou bonded. V místech, kde je spojovací člen uchycen k táhlům efektoru, byla vytvořena vazba pin.



Obrázek 72 – Vstupní podmínky analýzy spojovacího členu

10.2.3 Výsledky analýzy

Na obrázku 73 je zobrazen výsledek provedené analýzy. Maximální napětí je **79,5 MPa**. Mez pevnosti běžných slitin hliníku třídy EN AW 2000 a výše je $R_m = 100$ až 400 MPa. [21] Nutno dodat, že tak vysoké napětí je pouze v zaznačeném místě. Ve zbytku součásti je napětí daleko nižší. Součást tedy lze vyrobit z hliníkové slitiny.



Obrázek 73 – Výsledné napětí spojovací člena s čelistí

U existujícího efektoru jsou čelisti vyrobeny z oceli. Hmotnost obou čelistí je 3,44 kg. Před návrhem nástrojů byl navrhnout spojovací člen. Nyní se ověřila možnost zhotovení této součásti z hliníku. Hmotnost dvou těchto součástí z hliníku je 1,2 kg. V případě výroby prizmatické čelisti rovněž z hliníkové slitiny bude výsledná hmotnost dvou spojovacích členů s čelistmi 2,6 kg. Nosnost efektoru se tak zvýší o 0,84 kg. Hmotnost by se dala ještě dále snížit úpravou rozměru připojovacího členu a čelisti. Ty zůstaly při analýzách nezměněny.

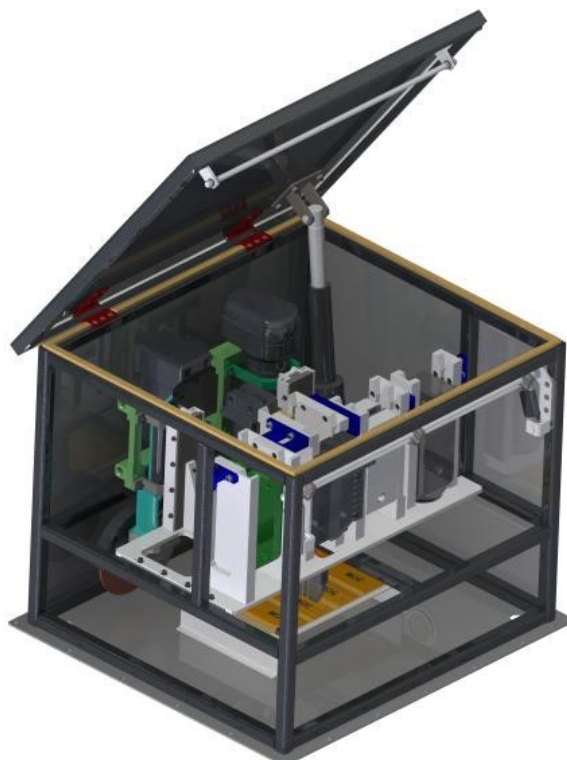
Pro zabránění poškození povrchu hliníkové čelisti a zvýšení tření mezi OM a čelistmi je povrch pokryt vrstvou gumy.

11 Parametry zásobníku

- Celková hmotnost: **50 kg**
- Maximální půdorysný rozměr: **566 x 516 mm**
- Cena: **233 500 Kč**
- Počet nástrojů v zásobníku: **6**
- Typy nástrojů:
 - Aku úhlová bruska
 - Aku vrtačka
 - Kleště
 - Hrot
 - Prizmatické čelisti
 - Cylindrické čelisti



Obrázek 74 – Robot se zásobníkem na ložné ploše (vlevo) a mimo ložnou plochu (vpravo)



Obrázek 75 – Náhled na dokončený 3D model zásobníku

12 Cenová kalkulace

V tabulce 35 je vypočtena odhadová výrobní cena za celý zásobník včetně nástrojů. U každé součásti se vždy uvádí dvě ceny: **Cena/pol** jedná se o cenu potřebného polotovaru na výrobu a pak **Cena/výr** ta ukazuje cenu za kompletní výrobu součásti.

Tabulka 36 – Výrobní cena zásobníku i s nástroji

Pořadí	Součást	Cena/pol.	Cena/výr.	Cena celkem
n		Kč	Kč	Kč
Podsestava rámu a krytování				
1	Rám	2 500	16 000	18 500
2	Krytování	2 450	15 000	17 450
3	Systém zámku	1 000	14 000	15 000
Podsestava nástrojů				
4	Držák nástrojů	600	13 000	13 600
5	Bruska včetně držáku	700	15 000	22 000
6	Vrtačka včetně držáku	700	25 000	32 000
7	Čelisti prizma. včetně držáku (2 kusy)	1 000	18 000	17 000
8	Čelisti cylindr. včetně držáku (2 kusy)	1 000	13 000	14 000
9	Hrot včetně držáku	1 000	9 000	10 000
10	Kleště včetně držáku	700	13 000	13 700
11	Box elektronika		180	180
12	Spojovací člen (2 kusy)	1 000	12 000	13 000
Podsestava víka				
13	Pohon		12 000	12 000
14	Ostatní	1 000	10 000	11 000
Ostatní				
15	Montáž			10 000
16	Programování a zapojení elektroniky			12 000
17	Administrativa, příplatky, poštovné			2 070
Suma	Cena celkem			233 500 Kč

Pokud výslednou cenu srovnáme s odhadovanou cenou zásobníku pro kritériální analýzu je výsledná cena 9 krát vyšší. Nutno ale dodat, že u kritériální analýzy se nepočítala cena nástrojů s držáky a měla zcela odlišný systém uzamykání víka. Konečná cena se vyšplhala na **233 500 Kč**.

13 ZÁVĚR

V rámci této diplomové práce byl navržen automatický zásobník nástrojů pro český šestikolový robot TAROS. Konstrukčně je zásobník propracován do podoby prototypu. Návrh systému uchycení čelistí/nástrojů na efektoru robotu se jevil jako nejproblémovější, protože zde nebylo možné použít standartní průmyslové řešení.

Nejprve byla zpracována rešerše základních informací o robotu TAROS, jeho technických parametrech a provozních podmínkách. Obsah rešerše tvořily také technické možnosti manipulační nástavby, kterou robot disponuje a detailní popis konstrukce efektoru. V rešerši bylo rovněž popsáno několik podobných systémů. Z informací získaných v rešerši a po domluvě s vedoucím této práce byl stanoven požadavkový list. V něm byly stanoveny nástroje/čelisti, které přispějí ke zvýšení potenciál robotu, a pro které se bude vytvářet automatický zásobník. Celkem byly vybrány čtyři nástroje a dva typy čelistí. Po výběru následoval návrh systému uchycení nástrojů/čelistí.

Dalším krokem byl návrh tří variant zásobníků. První dvě varianty umožňují rotaci zásobníku s nástroji. To je výhodou oproti třetí statické variantě a to v tom, že manipulační nástavba robotu bude provádět výměnu nástroje vždy na stejném místě. Řídicí software nástavby bude mít tedy jednu danou pozici. U třetí varianty bude těchto pozic šest. Software bude tedy o něco složitější, nicméně tato práce se nezabývá návrhem tohoto softwaru a nebyl tedy na tento požadavek kladen takový důraz. Všechny varianty zásobníku byly vypracovány do stejné míry, aby byl zřejmý princip a bylo je tak možné spravedlivě ohodnotit a porovnat.

Z těchto tří navržených variant byla pomocí kritériální analýzy vybrána optimální varianta. Kritéria analýzy byla zvolena na základě základních požadavků na tento systém. Vybraná varianta byla konstrukčně upravena a dopracována s ohledem na snadnou údržbu, spolehlivost a odolnost vzhledem k provoznímu prostředí robotu. Navržen byl rovněž systém utěsnění vnitřního prostoru zásobníku, umístění elektroniky a zajištění víka zásobníku.

U vybraných součástí bylo simulováno provozní zatížení prostřednictvím pevnostních analýz zpracovaných v programu Creo Simulate 3.0 a další součásti byly ověřeny ručními výpočty. V příloze je přiložena výkresová dokumentace vybraných komponent.

Dalším krokem v postupu konstrukce zásobníku by bylo řešení elektrické části zásobníku, což zahrnuje návrh vhodných řídicích komponent pro všechny pohony a nástroje, rozmístění těchto komponent v boxu pro elektroniku a jejich schéma zapojení.

14 Seznam použité literatury a elektronických podkladů

- [1] Projekt TAROS. CAFR [online]. [cit. 2017-04-14]. Dostupné z:
<http://cafr.cz/projects.html>
- [2] VOP CZ, s. p. : Vývojové projekty [online]. [cit. 2017-04-14]. Dostupné z:
<http://www.vop.cz/cz/kategorie/vyvojove-projekty.aspx>
- [3] Armádní noviny: Český vojenský robot TAROS 6×6 V2 [online]. [cit. 2017-04-15].
Dostupné z: <http://www.armadninoviny.cz>
- [4] Makita: Zboží. : Aku úhlová bruska 125mm Li-ion 18V/5,0Ah,systainer [online]. [cit. 2017-04-15]. Dostupné z:
<https://www.makita.cz/produkt/akumulatorove-stroje/brusky/li-ion-18v/aku-uhlova-bruska-125mm-li-ion-18v-5-0ah-systainer-27826.htm>
- [5] Makita: Zboží. : Aku bezuhlíkový šroubovák Li-ion 18V 5,0 Ah,systainer [online].
[cit. 2017-04-16]. Dostupné z: <https://www.makita.cz/produkt/aku-bezuhlukovy-sroubovak-li-ion-18v-5-0-ah-systainer-33108.htm>
- [6] KLEŠTĚ LISOVACÍ: KNIPEX 9743200 [online]. [cit. 2017-04-16]. Dostupné z:
<http://www.timkutil.cz/product/kleste-lisovaci-knipex-9743200>
- [7] Elesa+ganter: Produkty. : Zajišťovací prvky [online]. [cit. 2017-04-22]. Dostupné z:
<https://www.elesa-ganter.cz/vyrobky/zajistovaci-prvky/skupina/gn-615>
- [8] Alfa Tactical: Zbraně. : příslušenství [online]. [cit. 2017-04-22]. Dostupné z:
<http://www.alfatactical.cz/utg-picatinny-lista-utg-pro-na-m-lok-8-slotu.html>
- [9] Actuonix Motion Devices: Micro Linear Actuator with Feedback. : L12-P [online].
[cit. 2017-04-25]. Dostupné z: <http://www.actuonix.com/L12-P-Micro-Linear-Actuator-with-Position-Feedback-p/112-p.htm>
- [10] Igus: Produkty. : *PRT s ozubeným systémem* [online]. [cit. 2017-04-25]. Dostupné z:
http://www.igus.cz/wpck/7238/PRT_mit_Verzahnung
- [11] *Igus: drylin® E* [online]. [cit. 2017-04-27]. Dostupné z:
http://www.igus.cz/wpck/7242/DryLin_NEMA_23
- [12] Lockheed Martin: Products. : *SMSS* [online]. [cit. 2017-04-28]. Dostupné z:
<http://www.lockheedmartin.com/us/products/smss.html>
- [13] NREC: Products. : *Crusher* [online]. [cit. 2017-04-28]. Dostupné z:
<http://www.nrec.ri.cmu.edu/projects/crusher/photos/>
- [14] NREC: National Robotics Engineering Center. : *Crusher* [online]. [cit. 2017-04-29].
Dostupné z: <http://www.nrec.ri.cmu.edu/projects/crusher/>
- [15] Northrop Grumman: Capabilities. : *Cutlass* [online]. [cit. 2017-04-29]. Dostupné z:
<https://www.northropgrummaninternational.com/capabilities/cutlass/>

- [16] *Technet cz: Vojenství* [online]. [cit. 2017-04-29]. Dostupné z:
http://technet.idnes.cz/robot-teodor-pyrotechnika-d0i-/vojenstvi.aspx?c=A130327_131110_vojenstvi_kuz
- [17] Telerob: Products. : *tOEDdor* [online]. [cit. 2017-04-29]. Dostupné z:
<http://www.telerob.com/en/products/teodor>
- [18] *QinetiQ North America: TALON* [online]. [cit. 2017-04-29]. Dostupné z:
<https://www.qinetiq-na.com/products/unmanned-systems/talon/>
- [19] Armádní noviny: Pozemní technika. : *TAROS 6x6 Furbo* [online]. [cit. 2017-05-03].
Dostupné z: <http://www.armadninoviny.cz/cesky-bojovy-robot-taros-6x6-furbo.html?hledat=taros>
- [20] Info.unob.cz: Chystané akce. : *NATO* [online]. [cit. 2017-05-03]. Dostupné z:
<https://info.unob.cz/Stranky/2014/09/20140911.aspx>
- [21] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 4., dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2008. ISBN 978-80-7361-051-7.
- [22] Bralo: Produkty: Nýtovací matice. : *Ocel s plochou hlavou* [online]. [cit. 2017-05-06].
Dostupné z: <http://www.bralo.cz/produkty/nytovaci-matice/ocel/hladke/ocel-plochou-hlavou/>
- [23] GM Electornic: Plastové krabičky průmyslové. : *U-01-52* [online]. [cit. 2017-05-06].
Dostupné z: <https://www.gme.cz/plastova-prumyslova-krabicka-ip65-u-01-52>
- [24] Kartáčovna Koloveč: Výrobky. : *KARTÁČOVÉ TĚSNÍČÍ LIŠTY* [online]. [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://www.kartacovnakolovec.cz/cz/vyrobky/zakazkova-vyroba/kartacove-tesnici-listy/>
- [25] TME: Vývodky. : *HSK-K* [online]. [cit. 2017-05-07]. Dostupné z:
<http://www.tme.eu/cz/Document/45c586b06f4f0ce1900969e61e2addc5/HSK-K-CZ.pdf>
- [26] *Alibaba.com: Heating Pads* [online]. [cit. 2017-05-11]. Dostupné z:
https://www.alibaba.com/product-detail/Universal-Waterproof-Electric-Flexible-Industrial-Heating_519122774.html
- [27] *Extrémně lehcí a stabilní kluzáci: Hodnoty odporu rozličných tvarů těles* [online].
MUNI [cit. 2015-05-09]. Dostupné z:
<http://is.muni.cz/do/ped/kat/biologie/pokusy/pages/kluzaci.html>
- [27] LINAK: Produkty. : *LINEÁRNÍ AKTUÁTOR / LINEÁRNÍ POHON LA22* [online].
[cit. 2017-05-11]. Dostupné z:
<http://www.linak.cz/products/linear-actuators.aspx?product=LA22>

15 Seznam příloh

Výkresová dokumentace

- | | |
|--|-------------------|
| • Sestavný výkres zásobníku: | KAS0104 – DP – 01 |
| • Výkres podsestavy nástrojů: | KAS0104 – DP – 02 |
| • Výkres podsestavy držáku čelistí: | KAS0104 – DP – 03 |
| • Výkres podsestavy prizmatických čelistí: | KAS0104 – DP – 04 |
| • Výrobní výkres prizmatické čelisti: | KAS0104 – DP – 05 |
| • Výrobní výkres spojovacího členu: | KAS0104 – DP – 06 |

Přiložené CD obsahuje:

- Výkresovou dokumentaci ve formátu .pdf a .dwg
- 3D model vybrané varianty zásobníku v programu Creo Parametric 3.0 a formátu .step
- Diplomová práce Kaszper Martin.pdf